

UNIVERSIDAD CARLOS III
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONEXIONADO
ELECTRÓNICO PARA LOS BRAZOS DEL
ROBOT HUMANOIDE RH2**

AUTOR: EDUARDO MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

TUTOR: SANTIAGO MARTÍNEZ DE LA CASA DÍAZ

JUNIO 2011

Contenido

Resumen.....	1
Abstract	2
Capítulo 1: Introducción	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Motivaciones.....	6
1.3 Objetivo del proyecto.	7
1.4 Estructura y contenido de la memoria.....	8
Capítulo 2: Manipuladores en la robótica	9
2.1 Historia de la robótica.....	10
2.2 Evolución de los robots manipuladores.....	14
2.3 El proyecto RH.....	18
2.4 El RH-2.....	22
2.4.1 Anatomía del hombro.	24
2.4.2 Anatomía del codo.	25
2.4.3 Anatomía de la muñeca.	25
Capítulo 3: Sistemas Hardware	28
3.1 Arquitectura Hardware del brazo del RH-2.....	29
3.2 Descripción de los sistemas electrónicos del RH-2.	32
3.2.1 Accionadores.....	32
3.2.2 Sensorización.....	34
3.2.3 Sistemas de control.	38
3.2.4 Comunicaciones.	40
3.3 Descripción de las conexiones y protecciones necesarias.	41
3.3.1 Conexión entre placas de una articulación (Circuitos impresos flexibles).	41
3.3.2 Conexión entre articulaciones.....	42
3.3.3 Conexión entre el codo y el interior del brazo.	43
3.3.4 Conexión de los motores.....	43
3.3.5 Conexión del encoder absoluto.....	43
3.3.6 Conexión del encoder relativo y del sensor fuerza-par.....	44
3.3.7 Reductor de tensión.	44
3.3.8 Supresor de transitorio.	45
3.4 Listado de componentes.....	46
3.5 Consumo de potencia.	47

Capítulo 4: Diseño e implementación	48
4.1 Herramientas de diseño.....	49
4.1.1 SolidWorks.	49
4.1.2 OrCAD.....	52
4.2. Diseño mecánico.....	56
4.2.1. Análisis de la estructura de los brazos del RH-2.....	56
4.2.2. Distribución de las placas y los GDL's.....	57
4.3. Diseño electrónico.	65
4.3.1. Captura del circuito.....	65
4.3.2. Condiciones de diseño de la PCB.....	67
4.3.3. Diseño de la PCB.....	68
Capítulo 5: Presupuesto.....	71
5.1. Coste de material por unidad.	72
5.2. Coste de desarrollo.	73
5.3. Costes totales.....	73
Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros	74
6.1. Conclusiones	75
6.2. Trabajos futuros.....	76
Capítulo 7: Bibliografía	77
ANEXOS	80
A.1 Esquemáticos y circuitos impresos.	81
A.1.1 Muñeca.	81
A.1.2 Conexión entre la muñeca y el codo.....	90
A.1.3 Codo.	92
A.1.4 Conexión entre el codo y el hombro.....	99
A.1.5 Hombro.	101
A.1.6 Interior del brazo.....	111
A.2 Proceso de creación de una PCB.....	113
A.2.1 Insolación	113
A.2.2 Revelado.....	114
A.2.3 Atacado.	114
A.2.4 Finalización de la PCB.....	115
A.3 Hojas de características de los componentes.	116

Índice de figuras

Capítulo 2: Manipuladores en la robótica	9
Figura 2.1: Mecanismo para pintar con espray.....	10
Figura 2.2: Autómatas de Vaucanson	11
Figura 2.3: Robot Aibo de Sony	11
Figura 2.4: Robot industrial.....	12
Figura 2.5: Distribución por aplicaciones de los robots de servicios.....	13
Figura 2.6: UNIMATE	14
Figura 2.7: Standform Arm.....	14
Figura 2.8: PUMA	15
Figura 2.9: Robots ABB en una fábrica de coches	15
Figura 2.10: Evolución de los robots humanoides de Honda.....	15
Figura 2.11: ASIMO de Honda	16
Figura 2.12: Brazo del robot humanoide WHOLE	16
Figura 2.13: Brazo del robot humanoide WE-4RII.....	16
Figura 2.14: Brazo del robot humanoide de la Universidad de Tokio.....	17
Figura 2.15: Brazo del robot humanoide ROBONAUTA	17
Figura 2.16: Estructura cinemática del RH-0 y RH-1	19
Figura 2.17: Articulación RH-0 y RH-1	19
Figura 2.18: RH-0 a la izquierda y RH-1 a la derecha.....	20
Figura 2.19: Medidas del RH-2	22
Figura 2.20: Grados de libertad del RH-2	23
Figura 2.21: División del cuerpo humano en módulos.....	23
Figura 2.22: Rango de actuación del hombro	24
Figura 2.23: Rango de actuación del codo	25
Figura 2.24: Rango de actuación de la muñeca.....	25
Figura 2.25: Huesos y músculos del brazo humano y grados de libertad implementados.	26
Figura 2.26: Brazo del RH-2	26
Capítulo 3: Sistemas Hardware	28
Figura 3.1: Arquitectura Hardware del manipulador	31
Figura 3.2: Motores Brushless DC planos de Maxon.....	32
Figura 3.3: Encoder Relativo RENCO RCML15	35
Figura 3.4: Encoder Absoluto AEAS 7500	36
Figura 3.5: Controlador PIC 18F2580	36
Figura 3.6: Transmisor-receptor PCA82C250	37

Figura 3.7: Sensor Fuerza-Par	37
Figura 3.8: Driver ISCM 8005	39
Figura 3.9: Circuitos flexibles	41
Figura 3.10: Buses de alimentación y comunicación	42
Figura 3.11: Conector SAMTEC MPSC / MPTC	43
Figura 3.12: Conector Microfit de Molex	43
Figura 3.13: Conector FFC	44
Figura 3.14: Conector Tyco_Electronics	44
Figura 3.15: Reductor de tensión variable	45
Capítulo 4: Diseño e implementación	48
Figura 4.1: Flujo de trabajo en SolidWorks	49
Figura 4.2: Modelado de un componente (a la izquierda) y modelado del ensamblaje de una placa (a la derecha)	50
Figura 4.3: Ensamblaje de una placa a la estructura mecánica.....	50
Figura 4.4: Proceso de producción de Hardware	52
Figura 4.5: Flujo del diseño de una PCB	53
Figura 4.6: Flujo del diseño de una captura del circuito	53
Figura 4.7: Flujo del diseño de una PCB con OrCAD Layout	55
Figura 4.8: Diagrama del paso de captura a layout.....	55
Figura 4.9: Localización de las capas de una PCB.....	55
Figura 4.10: Montaje Driver	57
Figura 4.11: Localización de las partes del brazo y GDL's	57
Figura 4.12: Medidas del brazo del RH-2	58
Figura 4.13: Distribución de las placas en el hombro	58
Figura 4.14: Medidas en las placas del hombro	59
Figura 4.15: Distribución de las placas en el codo (frontal)	60
Figura 4.16: Distribución de las placas en el codo (trasera).....	60
Figura 4.17: Medidas en las placas del codo	61
Figura 4.18: Montaje en el interior del brazo	62
Figura 4.19: Medidas en el interior del brazo	62
Figura 4.20: Distribución de las placas en la muñeca.....	63
Figura 4.21: Medidas en las placas de la muñeca	63
Figura 4.22: Medidas en la conexión hombro-codo.....	64
Figura 4.23: Medidas en la conexión codo-muñeca.....	64
Figura 4.24: Bloques de nivel superior	66
Figura 4.25: Captura del subcircuito de uno de los bloques de nivel superior	66

Figura 4.26: Resultado final de la placa.....	69
Figura 4.27: Propiedades del obstáculo	69
Figura 4.28: Detalle del rutado de la zona flexible.....	70
Figura 4.29: Resultado final de la placa.....	70
ANEXOS	80
Figura A.1: Esquemático de la muñeca	81
Figura A.2: Esquemático del circuito 1 de la muñeca	82
Figura A.3: Esquemático del circuito 2 de la muñeca	83
Figura A.4: Serigrafía SSTOP de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2	84
Figura A.5: Cara TOP de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2.....	85
Figura A.6: Cara BOTTOM de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2.....	86
Figura A.7: Serigrafía SSTOP de la muñeca del brazo derecho del RH-2	87
Figura A.8: Cara TOP de la muñeca del brazo derecho del RH-2	88
Figura A.9: Cara BOTTOM de la muñeca del brazo derecho del RH-2	89
Figura A.10: Esquemático de la conexión entre la muñeca y el codo	90
Figura A.11: Cara TOP de la conexión entre la muñeca y el codo.....	90
Figura A.12: Cara TOP, BOTTOM y SSTOP de las conexiones en la muñeca (izquierda) y en el codo (derecha).....	91
Figura A.13: Esquemático del codo	92
Figura A.14: Esquemático del circuito 1 del codo	93
Figura A.15: Esquemático del circuito 2 del codo	94
Figura A.16: Esquemático del circuito 3 del codo	95
Figura A.17: Esquemático del circuito 4 del codo	95
Figura A.18: Cara SSTOP del codo del RH-2.....	96
Figura A.19: Cara TOP del codo del RH-2	97
Figura A.20: Cara BOTTOM del codo del RH-2	98
Figura A.21: Esquemático de la conexión entre el codo y el hombro.....	99
Figura A.22: Cara TOP de la conexión entre el codo y el hombro.....	99
Figura A.23: Cara TOP, BOTTOM y SSTOP de las conexiones en el codo (izquierda) y en el hombro (derecha).....	100
Figura A.24: Esquemático del hombro	101
Figura A.25: Esquemático del circuito 1 del hombro izquierdo	102
Figura A.26: Esquemático del circuito 2 del hombro	103
Figura A.27: Cara SSTOP del hombro izquierdo	104
Figura A.28: Cara TOP del hombro izquierdo.....	105
Figura A.29: Cara BOTTOM del hombro izquierdo.....	106

Figura A.30: Esquemático del circuito 1 del hombro derecho	107
Figura A.31: Cara BOTTOM del hombro derecho	108
Figura A.32: Cara TOP del hombro derecho.....	109
Figura A.33: Cara BOTTOM del hombro derecho.....	110
Figura A.34: Esquemático del circuito del interior del brazo	111
Figura A.35: Cara SSTOP y SSBOTTOM del interior del brazo	112
Figura A.36: Cara TOP y BOTTOM del interior del brazo.....	112
Figura A.37: Capas de una PCB básica.....	113
Figura A.38: Acción de la luz ultravioleta sobre una PCB.....	113
Figura A.39: Acción del revelador sobre la PCB	114
Figura A.40: Efectos del atacado en la PCB	114
Figura A.41: Resultado final de la PCB	115

Índice de tablas

Capítulo 2: Manipuladores en la robótica	9
Tabla 2.1: Grados de libertad RH-0 y RH-1	18
Tabla 2.2: Elementos Hardware RH-0 y RH-1	20
Tabla 2.3: Longitudes medias de algunas partes del cuerpo humano	24
Capítulo 3: Sistemas Hardware	28
Tabla 3.1: Sistemas y dispositivos del brazo del RH-2	30
Tabla 3.2: Distribución de los motores del brazo del RH-2	33
Tabla 3.3: Conexión de los motores del brazo del RH-2	33
Tabla 3.4: Conexión de los encoders relativos del brazo del RH-2	35
Tabla 3.5: Conexión de los encoders absolutos del brazo del RH-2	36
Tabla 3.6: Conexión de los sensores Fuerza-Par del RH-2	38
Tabla 3.7: Características supresores de transitorio	45
Tabla 3.8: Listado de componentes	46
Tabla 3.9: Consumos de potencia por cada brazo	47
Capítulo 4: Diseño e implementación	48
Tabla 4.1: Modelado de componentes	51
Tabla 4.2: Listado de conexiones entre placas en el hombro	59
Tabla 4.3: Listado de conexiones entre placas en el codo	61
Tabla 4.4: Listado de conexiones entre placas en la muñeca	63
Tabla 4.5: Consideraciones de diseño en las zonas rígidas	67
Tabla 4.6: Lista de líneas a trazar	68
Capítulo 5: Presupuesto	71
Tabla 5.1: Costes de material por unidad.	73
Tabla 5.2: Costes de desarrollo.	73
Tabla 5.3: Costes totales.	73

Resumen

El presente Proyecto de Fin de Carrera, desarrollado en la Universidad Carlos III de Madrid, tiene como finalidad el estudio y diseño del sistema de conexionado electrónico para los brazos del robot humanoide RH-2.

Este conexionado debe adaptarse a la estructura mecánica del brazo robótico, teniendo en cuenta el espacio utilizable, los componentes a utilizar y la potencia consumida por cada uno de ellos.

La realización del proyecto se basará en el estudio de la estructura mecánica del brazo robótico, la búsqueda y optimización de los componentes electrónicos que lo compondrán y el diseño de las PCB's (Placas de Circuito Impreso) en base a toda la información recopilada anteriormente.



Abstract

This Thesis Project, developed at the Carlos III University of Madrid, aims the study and design of the electronic connection for the arms of the Humanoid Robot RH-2.

This connection must be adapted to the mechanical structure of the robotic arm, keeping in mind the usable space, the components used and the power consumed by them.

The Project will be based on the study of the mechanical structure of the robotic arm, the search and optimization of the electronic components and the design of the PCBs (Printed Circuit Boards) based on all the information previously collected.



Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción.

Un robot humanoide es un producto de elevada exclusividad, debido a su coste y complejidad. Por ello, se decidió desarrollar un robot humanoide que fuese capaz de interactuar con los seres humanos y su entorno. De esta manera podríamos conseguir una mejora en nuestra calidad de vida, ya que se podría ayudar a personas discapacitadas. Además, este tipo de robots podría realizar operaciones dificultosas e incluso peligrosas para los humanos.

Los robots deben adaptarse al ambiente cotidiano creado por el hombre, es decir, deben ser capaces de subir y bajar escaleras, abrir y cerrar puertas, superar obstáculos... También debe ser capaz de realizar diversas tareas en el sector industrial y en el de servicios, así como interactuar con los humanos de la forma más natural posible.

Es por eso que un robot humanoide debe ser lo más parecido al hombre, por lo que sus características fundamentales deben ser:

- Locomoción bípeda estable.
- Dos brazos con pinza articulada o manos (según el propósito del robot) en los extremos para manipular objetos.
- Un cuerpo que albergue el sistema de control.
- Una cabeza con sensores de visión y sonido, para orientarse y desplazarse por el entorno de trabajo y recibir órdenes por voz.
- Autonomía en la toma de decisiones y necesidades de energía.
- Desempeño de sus funciones en entornos estructurados y que abarquen un amplio espectro de posibilidades, desde naves industriales hasta viviendas, oficinas, locales comerciales, escuelas, hospitales, ambientes exteriores, etc. Por ello el robot deberá ser capaz de andar por distintos tipos de superficies, ya sean planas, inclinadas e incluso deberá poder subir y bajar escaleras.

Las tareas que debe poder realizar son de los siguientes tipos:

- Asistencia a humanos: el humanoide debe ser capaz de interactuar con las personas de forma eficiente en un entorno humano. Se pueden citar como ejemplos la asistencia a personas en general y discapacitados en particular, ayuda en centros sanitarios y educativos, y otros tipos de servicios públicos.
- Manipulación y transporte de mercancías: un robot sería capaz de manipular objetos demasiado pesados para un ser humano, y debe poder hacerlo de forma individual o con la ayuda de otros robots u operarios.
- Operaciones de mantenimiento, limpieza y tareas similares, especialmente cuando supongan cierto peligro para la integridad física de un operario humano.
- Vigilancia y salvamento: tanto aplicaciones de inspección visual y de seguridad, como tareas de salvamento frente a desastres naturales y situaciones de emergencia en las cuales un humano no pueda interactuar o suponga peligro para su integridad.

- Entretenimiento y educación: el robot debe ser capaz de realizar actividades de entretenimiento, como juegos y deportes, y ser capaz de estar al cuidado de las personas que lo necesiten, como niños o ancianos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta las limitaciones que existen actualmente, como por ejemplo la simulación del movimiento humano, o la autonomía de la batería, ya que todavía nos encontramos ante un prototipo en el que se pueden introducir mejoras en todos sus sistemas.

Por ello, se hace necesario conocer el modelo dinámico y cinemático de cada articulación, obteniendo la información necesaria de los sensores del robot, de modo que en su desplazamiento estén controlados y coordinados todos los grados de libertad y así, el movimiento sea estable y se eviten caídas.

Este trabajo forma parte del proyecto de desarrollo del robot humanoide RH-2 realizado por el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid. Se centra en el diseño del conexionado electrónico del brazo del robot.

Será importante la correcta elección de los elementos a utilizar. En nuestro caso, será muy importante emplear elementos lo más pequeño posible, debido al espacio tan reducido en los brazos del robot humanoide, y habrá que tener en cuenta la potencia total consumida.

1.2 Motivaciones.

El ser humano es considerado una máquina perfecta y los ordenadores como el mayor invento de la humanidad. El uso de microprocesadores para construir un producto semejante a un humano supone el mayor reto para el mundo tecnológico. El desarrollo de un humanoide requiere recursos de todas las ramas de la ingeniería, en especial electrónica y mecánica.

Japón se ha considerado a partir de los 80 el precursor de nuevos productos y nuevas tecnologías. En este caso está mucho más avanzado que el resto del mundo en el desarrollo de humanoides. Se trata de un mercado poco rentable debido a los altos costes de los robots y sistemas aún en prueba. Pero teniendo en cuenta el avance de la tecnología y la rapidez con la que bajan los costes, puede convertirse Japón en el foco de este nuevo mercado. Ya pasó durante el siglo pasado con la creación de robots industriales. Las mayores multinacionales (Mitsubishi) que comercializan robots para industrias pertenecen a los países asiáticos junto con la europea ABB. Dos décadas fueron suficientes para la expansión del mercado a todo el mundo de la producción.

Es imprescindible que Europa investigue en este campo de la robótica para no quedar en desventaja respecto a los competidores. La mayoría de los proyectos europeos acerca de robots humanoides, no son comparables en cuanto al tamaño de inversión y calidad de los japoneses. EEUU está incluso menos actualizada que Europa y sólo destacan las investigaciones de la NASA en el campo de robots humanoides.

Por tanto es obvia la motivación para conocer los métodos de control de humanoides y el diseño de los sistemas hardware y software que necesita. Desde el primer proyecto del RH-0, son muchas las personas que han seguido interesándose con este tema para conseguir avances y obtener experiencia.

Es una motivación importante conseguir que el robot humanoide RH2 creado en la Universidad Carlos III, sea el más avanzado tecnológicamente, que su caminata sea estable y se comunique con el entorno. Lograr que el robot destaque en ferias internacionales de robótica como lo hace el HRP-3 o incluso el ASIMO y convertirse en el precursor en España, al igual que lo fue el RH-0.

1.3 Objetivo del proyecto.

El objetivo fundamental de este proyecto es el diseño del conexionado electrónico mediante placas de circuito impreso de los sistemas electrónicos del brazo del robot RH-2, es decir, desde la mano hasta el torso del robot, pasando por el codo y el hombro.

Para ello, primero es necesario conocer más a fondo los sistemas de actuación y sensorización. Por esta razón se realizará un estudio breve sobre cada uno de los sistemas, en el que será importante distinguir las diferentes señales eléctricas de cada elemento. Estas señales serán la base para crear las placas de circuito impreso.

Se analizará la estructura mecánica del robot, puesto que es necesario conocer previamente la posición de los diferentes sistemas dentro del humanoide y las dimensiones del mismo para una óptima colocación de los componentes.

Tendremos 6 grados de libertad en cada brazo, y para cada grado de libertad dispondremos de un motor, un encoder absoluto y un encoder relativo. Además, introduciremos en cada brazo dos drivers, capaces de procesar la información obtenida de los sensores y motores que controlan dos de los seis grados de libertad de cada brazo.

Las comunicaciones del encoder absoluto las realizaremos a través de un bus de campo, que será el CANbus. Se consideró el más apropiado para los objetivos del humanoide, debido a su alta velocidad de comunicación (alcanza 1Mbyte/seg) y su alta fiabilidad.

El principal problema de este proyecto será el espacio. Se dispondrá de poco espacio para poder poner todos los conectores de motores y encoders, así como los conectores que llevarán las líneas de potencia y de señal entre placas.

Así mismo, y debido a los diferentes movimientos que podrá hacer el brazo, habrá que buscar el lugar idóneo a cada conector, para evitar un cruce de cables o desconexiones inesperadas por algún tirón, etc.

1.4 Estructura y contenido de la memoria

A continuación se hace referencia a los capítulos que componen la memoria del proyecto incluyendo un breve comentario explicando su contenido:

- Capítulo 2: Estado del arte. Breve introducción a la robótica y análisis del estado del arte de los robots manipuladores y su evolución. Descripción del proyecto RH y de las características más importantes del futuro prototipo RH-2, haciendo un breve análisis de la anatomía de un brazo humano y de la estructura del brazo robot.
- Capítulo 3: Sistemas Hardware. Definición de los diferentes sistemas que componen la arquitectura hardware del robot y descripción de los elementos utilizados para la fabricación del brazo del robot.
- Capítulo 4: Diseño e implementación. Descripción de las herramientas de diseño utilizadas y su flujo de trabajo. Se mostrará el diseño de las placas y sus medidas, y los componentes que hay en cada una de ellas.
- Capítulo 5: Presupuesto. Análisis de los costes de material por unidad, de desarrollo y totales.
- Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros. Se describirán las conclusiones que se han sacado en este proyecto y las posibles mejoras a incorporar en un futuro.
- Capítulo 7: Bibliografía. Se mostrará una relación de todos los documentos utilizados para la realización del proyecto.
- Anexo: Se mostrarán los fotolitos de las placas, el proceso de fabricación de una PCB y las hojas de características de cada componente.



Capítulo 2

Manipuladores en la robótica

2.1 Historia de la robótica.

La robótica es un concepto de dominio público. La mayor parte de la gente tiene una idea de lo que es la robótica, sabe sus aplicaciones y el potencial que tiene; sin embargo, no conocen el origen de la palabra robot y tampoco del origen de las aplicaciones útiles de la robótica como ciencia.

Por siglos, el ser humano ha construido máquinas que imitan partes del cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses; los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos, los cuales eran utilizados para fascinar a los adoradores de los templos.

La palabra robot viene del vocablo checo *robota* (servidumbre, trabajo forzado o esclavitud). El término fue utilizado por primera vez por Karel Capek en su obra teatral R.U.R. (Rossum's Universal Robots). Los robots de Capek eran humanos artificiales orgánicos.

Más adelante, Isaac Asimov (1942) da una versión más humanizada a través de su conocida serie de relatos, en los que introduce por primera vez el término robótica con el sentido de disciplina científica encargada de construir y programar robots. Además, este autor plantea que las acciones que desarrolla un robot deben ser dirigidas por una serie de reglas morales. La imagen de robot que aparece en su obra es el de una máquina bien diseñada y con una seguridad garantizada que actúa de acuerdo con tres principios:

- Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, sin entrar en conflicto con la primera o la segunda ley.

La revolución industrial impulsó el desarrollo de estos agentes mecánicos. Se intentó la construcción de dispositivos automáticos que ayudasen o sustituyesen al hombre.

Entre ellos, destacaron los de Jaquemarts, muñecos de dos o más posiciones que golpean campanas accionados por mecanismos de relojería china y japonesa. También destacaron el torno mecánico motorizado de Babbitt (1892) y el mecanismo programable para pintar con espray de Pollard y Roselund (1942) [1].

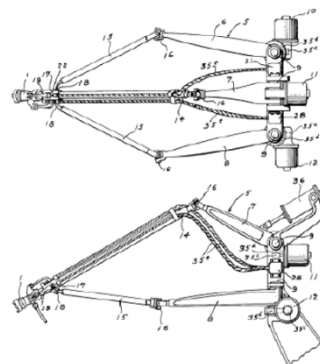


Figura 2.1: Mecanismo para pintar con espray

Jaques de Vaucanson construyó varios músicos de tamaño humano a mediados del siglo XVIII. Esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión.

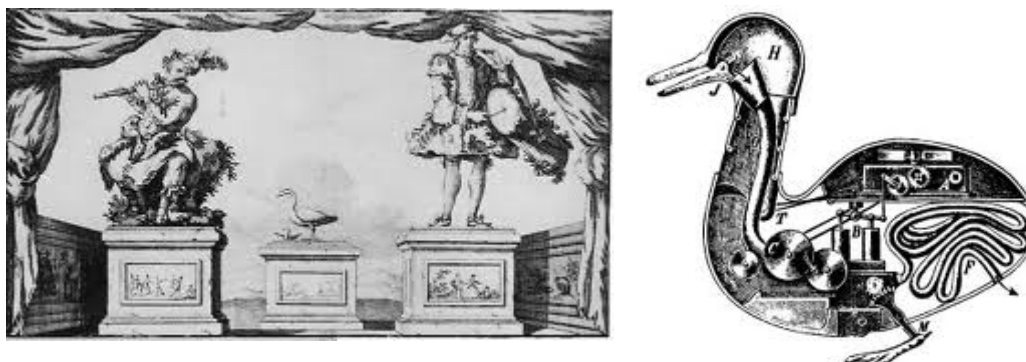


Figura 2.2: Autómatas de Vaucanson

Henri Maillardert construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Una serie de levas se utilizaban como “el programa” para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar. Estas creaciones mecánicas de forma humana deben considerarse como inversiones aisladas que reflejan el genio de hombres que se anticiparon a su época.

Los robots caminantes comenzaron con pequeños hexápodos y otros tipos de robots de múltiples patas. Estos robots imitaban insectos y artrópodos en funciones y formas. La tendencia se dirige hacia ese tipo de cuerpos que ofrecen gran flexibilidad y han probado adaptabilidad en cualquier ambiente. Con más de 4 piernas, estos robots son estáticamente estables, lo que hace que el trabajar con ellos sea más sencillo. Sólo recientemente se han hecho progresos hacia los robots con locomoción bípeda (humanoides).

El desarrollo de la tecnología donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria.

La investigación en inteligencia artificial desarrolló maneras de emular el procesamiento de información humana con computadores electrónicos.

En 2002, Honda y Sony comenzaron a vender comercialmente robots humanoides como “mascotas”. Los robots con forma de perro o de serpiente se encuentran, sin embargo, en una fase de producción muy amplia. El ejemplo más notorio ha sido Aibo de Sony.



Figura 2.3: Robot Aibo de Sony

La robótica industrial ha alcanzado un elevado grado de madurez, y la compra e instalación de robots industriales en los entornos productivos ha dejado de ser una aventura para convertirse en una opción razonable en muchos contextos de la automatización.

Al igual que ha pasado con los ordenadores y las nuevas tecnologías en general, los robots actuales son más robustos, rápidos y fiables. Su capacidad de carga y repetitividad es comparativamente superior, y su programación se ha facilitado considerablemente, y son asequibles para mayor cantidad de empresas.

El mercado de la robótica industrial crece anualmente, al igual que el parque mundial de robots, que supera los 900.000 robots. Japón y Estados Unidos lideran la fabricación y consumo de robots industriales siendo Japón el número uno.

Actualmente, éste dominio técnico sobre la robótica industrial, da paso a investigar en el campo de la robótica de servicio, es decir, el desarrollo de robots que puedan maniobrar en cualquier entorno y nos ofrezcan servicios personalizados a humanos, y no de carácter industrial.

Se puede hacer una división muy genérica de los tipos de robots existentes. Atendiendo a sus campos de aplicación se pueden dividir en:

- Industriales.

Según la Asociación de Industrias Robóticas (RIA) un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materia, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.



Figura 2.4: Robot industrial

- De servicios.

Son todos aquellos robots que sirven a los seres humanos, en alguna actividad ya sea peligrosa o repetitiva, alguna veces son teleoperados, es decir, se controlan a distancia o pueden ser autónomos (tienen una capacidad de decisión propia). Se encuentran varias categorías, como por

ejemplo la construcción, en misiones espaciales, en la medicina y en tareas de rescate y seguridad ciudadana. La otra aplicación a destacar es la robótica personal, colaborando en multitud de tareas domésticas, tareas de vigilancia y seguridad e incluso haciendo compañía como robots mascotas.

Estos robots, tecnológicamente viables, están experimentando un grado de aceptación creciente, estando aún limitada su proliferación por el coste todavía elevado [9].

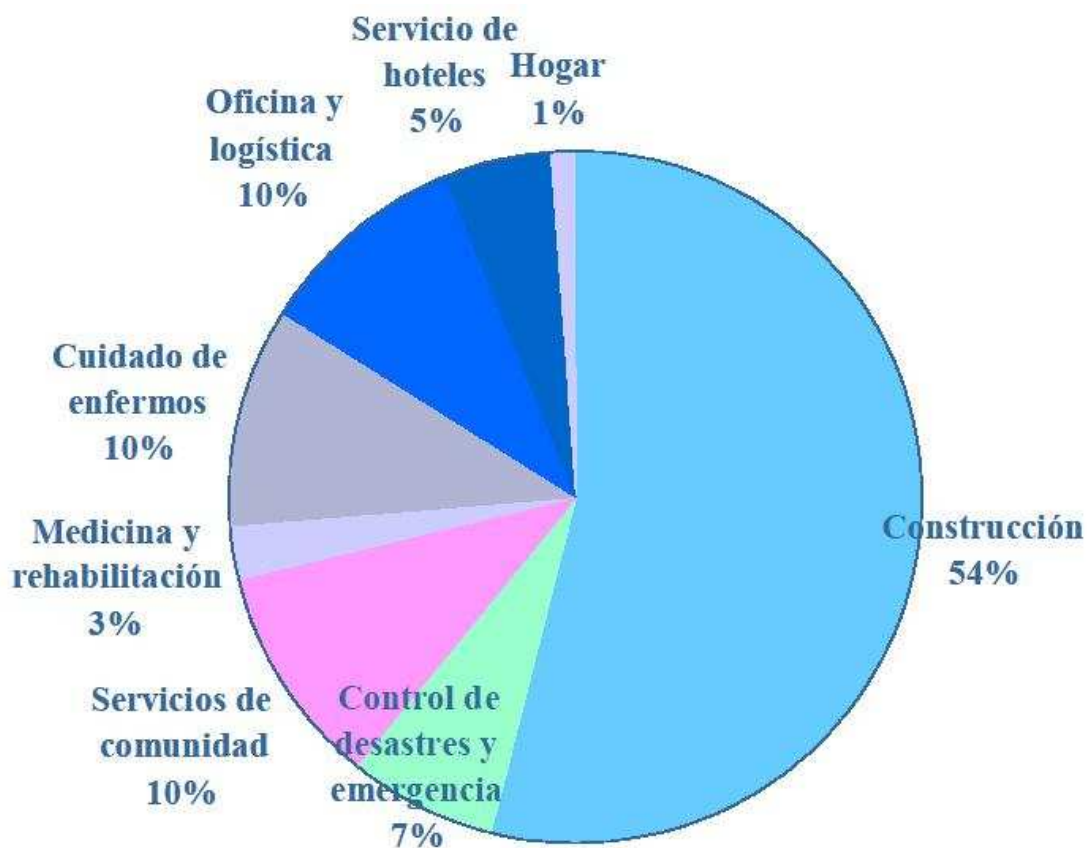
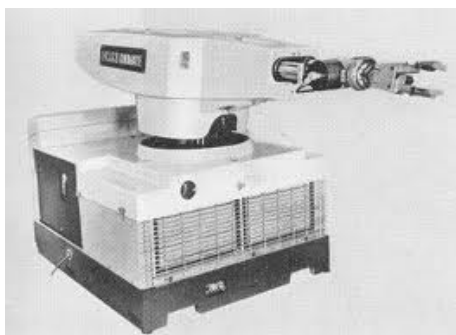


Figura 2.5: Distribución por aplicaciones de los robots de servicios

2.2 Evolución de los robots manipuladores.

Un robot manipulador es un robot con sistemas mecánicos multifuncionales, con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos de manera manual o secuencial.

Hablar de robots manipuladores es, en gran medida, hablar de robots industriales. El primer robot industrial, el UNIMATE, fue inventado por George Charles Devol en 1954, a quien a menudo se le conoce como el padre de la robótica.



Unos años más tarde, Devol y Joseph F. Engelberger formaron la empresa Unimation. La comercialización de robots comenzaría en 1959, con el primer modelo de la Planet Corporation que estaba controlado por interruptores de fin de carrera.

Figura 2.6: UNIMATE

En 1960 se introdujo el primer robot UNIMATE, basado en la transferencia de artículos programada por Devol. Utilizaban los principios de control numérico para el control de manipulador y era un robot de transmisión hidráulica.

En 1961, un robot UNIMATE se instaló en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel. En 1966, la firma noruega Trallfa construyó e instaló un robot de pintura por pulverización.

En 1971 el "Stanford Arm", un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolló en la Stanford University.



Figura 2.7: Standform Arm

En 1973 se desarrolló en SRI el primer lenguaje de programación de robots del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE. Fue seguido por el lenguaje AL en 1974. Los dos lenguajes se desarrollaron posteriormente en el lenguaje VAL comercial para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.

En 1975, Will y Grossman, en IBM, desarrollaron un manipulador controlado por computador con sensores de contacto y fuerza para montajes mecánicos. Este mismo año, el ingeniero mecánico estadounidense Victor Scheinman, cuando estudiaba la carrera en la Universidad de Stanford, desarrolló un manipulador polivalente realmente flexible conocido como Brazo Manipulador Universal Programable o PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly, siglas en inglés). El

PUMA era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.



Figura 2.8: PUMA

En 1979 Hirosi Makino diseña el SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm) para trabajos de ensamblaje en fábricas.

En la actualidad, se siguen modernizando los robots industriales manipuladores, basados en los sistemas PUMA y SCARA [9].



Figura 2.9: Robots ABB en una fábrica de coches

En cuanto a robots humanoides, su construcción comienza a finales de la década de los 80. El mayor problema de estos robots ha sido, desde siempre, conseguir una caminata estable. De nada sirve avanzar en la parte manipuladora de un robot si éste no se tiene en pie. Por eso, la primera parte a desarrollar por las empresas ha sido la caminante, como se puede apreciar en la *Figura 2.10*, en la que se muestra la evolución de los robots humanoides de la empresa japonesa Honda, una de las líderes en este campo de producción.



Figura 2.10: Evolución de los robots humanoides de Honda

El primer robot, el E0, fue construido en 1986, y tenía la capacidad de andar poniendo una pierna delante de la otra, aunque empleaba casi 5 segundos entre paso y paso. El E0 se fue mejorando durante los siguientes años, hasta conseguir que tuviera una caminata más estable y rápida, y capaz de evitar obstáculos y subir y bajar escaleras.

Fue entonces cuando, en 1993, se desarrolló el P1, el primer prototipo de robot con tronco y extremidades superiores como las de un humano. Era capaz de encender interruptores y coger y trasladar objetos. La investigación se centró también en la coordinación en el movimiento entre brazos y piernas. Este modelo también sufrió mejoras, todas destinadas a mejorar el rendimiento de la batería y a disminuir en la medida de lo posible el tamaño y el peso.

Ya en el año 2000, se creó el ASIMO, un robot compacto y con peso ligero, con una sofisticada tecnología para andar, una gran libertad en el movimiento de las extremidades superiores, mayor facilidad de manipulación. Posee una altura de 1'2 m y un peso de 52 Kg, y es capaz de levantar hasta medio kilogramo en cada mano [6].



Figura 2.11: ASIMO de Honda

Además de Honda, otras marcas y universidades han estado desarrollando manipuladores, y algunos ejemplos son estos:

La Universidad de Southampton diseñó un brazo robótico con 6 grados de libertad. Su objetivo principal fue obtener conocimientos sobre las características del brazo y mano humana y ser capaz de maniobrar hasta 4 kg con la mano. Su transmisión era con Harmonic Drive.

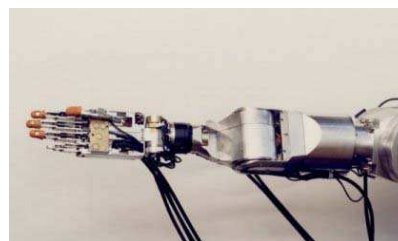


Figura 2.12: Brazo del robot humanoide WHOLE

En la Universidad de Waseda se diseñó un brazo de 7 grados de libertad donde el rango móvil de cada unión es como la de un humano, con el objetivo de obtener una expresión más parecida a la humana. Se diseñó el robot para tener las mismas dimensiones que un varón promedio y tener una apariencia natural.



Figura 2.13: Brazo del robot humanoide WE-4RII

La Universidad de Tokio diseñó un brazo de 7 grados de libertad. La idea era que pudiera desarrollar una comunicación física cercana con otras personas usando gestos y las tareas diestras de manipulación.

Lo novedoso de este brazo fue que el diseño se realizó muy ligero con el objetivo de moverlo muy rápido, lo cual se logra a base de reductores armónicos, motores DC y bandas para cada GDL. El brazo tiene una masa total de 7.3 kg y puede sostener una carga de 0.5 kg en su efector final, alcanzando velocidades de 1.2 m/s.



Figura 2.14: Brazo del robot humanoide de la Universidad de Tokio

La NASA desarrolló un humanoide metálico al que llamó *Robonauta*, con el objetivo de ser utilizado en el espacio y poder reparar satélites y estaciones espaciales. A diferencia de los robots construidos hasta ahora, el Robonauta tiene el tamaño de un astronauta con traje espacial. Tiene brazos y manos más flexibles que los humanos, sus muñecas giran más para tomar herramientas de trabajo. Su cuerpo es más robusto y tiene una cabeza equipada con dos cámaras que funcionan como ojos [9].



Figura 2.15: Brazo del robot humanoide ROBONAUTA

2.3 El proyecto RH

El proyecto de robots humanoides RH de la Universidad Carlos III de Madrid consta de dos prototipos ya construidos: RH y el RH-1.

Ambos han sido desarrollados tomando como modelos los prototipos más avanzados existentes en aquel momento, como eran el ASIMO de Honda y el HRP-2P de Kawada (que ya ha quedado obsoleto al salir el modelo HRP-3P).

El RH-1 suponía simplemente la modificación o sustitución de algunos elementos hardware y rediseños mecánicos del RH-0. Excepto algunos cambios estructurales, se mantiene el tamaño y los grados de libertad.

GDL	Número	Eje de movimiento
Cadera	3(x2)	Sagital, Frontal, Transversal
Rodilla	1(x2)	Sagital
Tobillo	2(x2)	Sagital, Frontal
Hombros	2(x2)	Sagital, Frontal
Codos	1(x2)	Sagital
Muñecas	1(x2)	Transversal
Tronco	1	Transversal
TOTAL	21	

Tabla 2.1: Grados de libertad RH-0 y RH-1

Se han definido como un sistema mecánico de 21 grados de libertad (GDL), 23 contando la cámara. En cada GDL hay un motor encargado de su movimiento, y están dispuestos de modo que le dotan de apariencia humana tanto en el aspecto como en la capacidad de locomoción, con las limitaciones propias de la extrema complejidad del sistema locomotor de un ser humano. Se distribuyen de la siguiente forma por sus extremidades:

- Piernas: dispone cada una de 6 GDL's distribuidos entre el tobillo, la rodilla y la cadera. La cadera posee 3 GDL's, uno en el plano sagital, otro en el frontal y el tercero en el plano transversal, utilizado en el cambio de dirección del movimiento; la rodilla tiene 1 GDL en el plano sagital, pues no es necesario ningún otro; y el tobillo posee 2 GDL's, en los planos sagital, para adaptar el pie al suelo, balanceo junto con el de la cadera para mantener el equilibrio.
- Brazos: cada brazo tiene 4 GDL's distribuidos entre el hombro, el codo y la muñeca. En el hombro existen 2 GDL's en los planos sagital y frontal, en el codo hay 1 GDL en el plano sagital y en la muñeca existe únicamente 1 GDL en el plano transversal. Esta distribución permite la manipulación de objetos, aunque no le confiere la movilidad de un brazo humano.

- Tronco y Cabeza: el tronco posee 1 GDL en el plano transversal, que le permite el giro en ese plano sin tener que mover las piernas. La cabeza posee 2 GDL's: uno para girar hacia los lados y otro que permite el giro hacia arriba o hacia abajo.

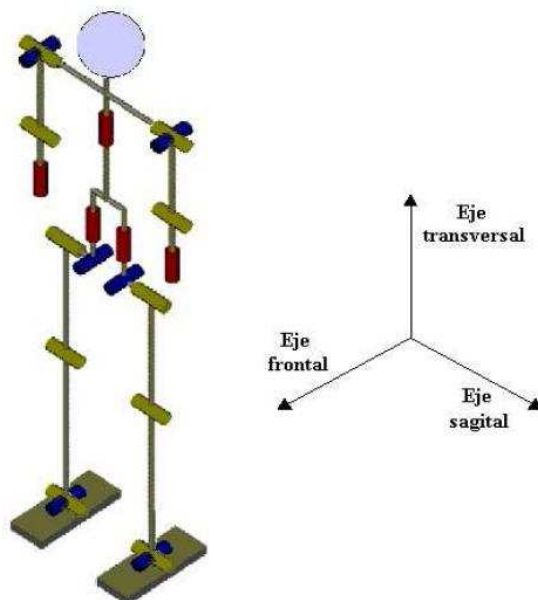


Figura 2.16: Estructura cinemática del RH-0 y RH-1

El sistema de control que usaba el RH-1 en cada articulación se puede apreciar en la Figura 2.17:

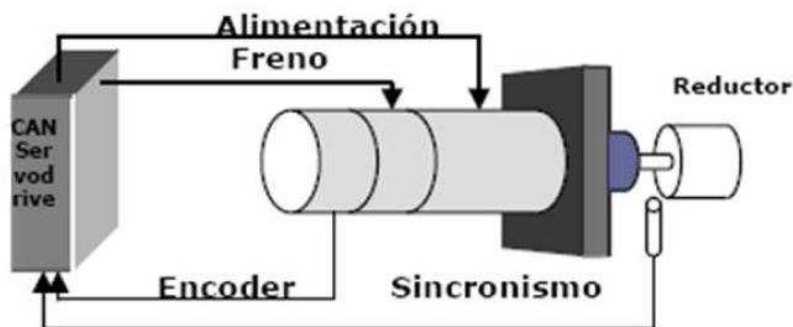


Figura 2.17: Articulación RH-0 y RH-1

Usa un encoder relativo o incremental para cerrar el lazo de control del motor. En el eje del motor aparte de estar conectado el encoder tiene un freno de motor.

También utiliza un sensor de sincronismo, por si se acaba la batería o hay un error y no se guarda la última posición en la que está el robot. Si ocurre, hay que llevar todas las articulaciones a una posición cero predeterminada. Si no el robot no puede conocer el estado de cada unión.

El resultado final del diseño es el prototipo construido:

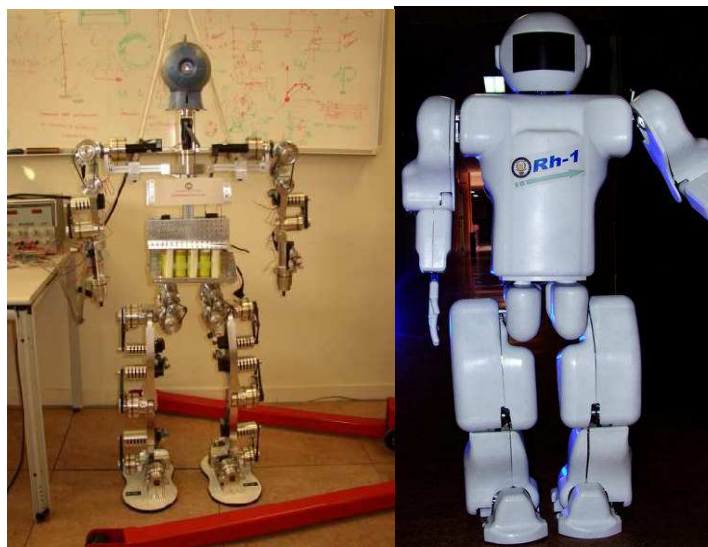


Figura 2.18: RH-0 a la izquierda y RH-1 a la derecha

Se recurría a una arquitectura descentralizada, usando para ello dos redes según el protocolo CAN-bus. Una red para la parte superior, y otra para la parte inferior, dedicadas ambas al control de los drivers de los motores. La distribución incluye el uso de varios microprocesadores.

Accionadores	RH-0	RH-1
Motor	Faulhaber 24 V DC	Faulhaber 24 V DC
Frenos motor	MBZ 22 de Faulhaber	MBZ 22 de Faulhaber
Sensorización		
Encoder	HEDS 5540 A de Faulhaber	HEDS 5540 A de Faulhaber
Giróscopo	Silicon CRS07	Silicon CRS07
Inclinómetro	ADXL Analog Devices	
Sincronismo	Contrinex serie 620	Contrinex serie 620
Computación		
Microprocesador	SECO M570 PC/104 400Mhz	Pentium M PC/104 Digital Logic
Driver	Elmo Harmonica A5/50 CAN	Elmo Harmonica A5/50 CAN
Adquisición de datos	-	SDM 7540 HR-1
Comunicación		
Inalámbrica	3COM Wireless LAN PC Card	Router ASUS WL-530G
Can-bus	Advantech PCM-3680 PC/104 Dual	Softing PC/104AC2104 50Ah

Tabla 2.2: Elementos Hardware RH-0 y RH-1

Es común a ambos sistemas hardware, el uso de un microprocesador de formato PC/104 con bus internos ISA dedicado al tratamiento digital de imagen y sonido, y otro igual para el control de la red CAN y el control de las trayectorias de las articulaciones en función de los datos sensoriales. Para determinar la posición angular de los motores, se obtenía la información directamente del encoder relativo incluido el motor.

La comunicación entre los microprocesadores y el router era inalámbrica. Para ello se incluía mediante conexión una tarjeta inalámbrica según el protocolo 802.11b. Para comunicarse con los inclinómetros y giróscopo se recurría a una conexión serie RS-232.

En base a este diseño, el robot será capaz de:

- 1) Asistir a las personas en sus entornos cotidianos.
- 2) Caminar en línea recta y girar a los lados.
- 3) Subir y bajar escaleras.
- 4) Simular al caminar el movimiento de los brazos de una persona.
- 5) Coger objetos de peso inferior a 0.5 Kg.
- 6) Gesticular con los brazos: señalar, saludar, etc.

Se pretende diseñar una versión de la serie RH completamente nueva, partiendo desde cero. Se consideran los anteriores RH-0 y RH-1, intentando introducir mejoras y solucionar los problemas existentes [4].

2.4 EI RH-2

[5] y [7] El nuevo robot dispone de 24 grados de libertad y se estima un peso de 60 Kg y una velocidad de 1 Km/h durante la caminata. Se calcula que podrá transportar objetos de 2 Kg de peso e incluso sentarse. Su altura aumenta de 1.2 m a 1.65 m, dotando al robot de un tamaño más acorde al de un humano.

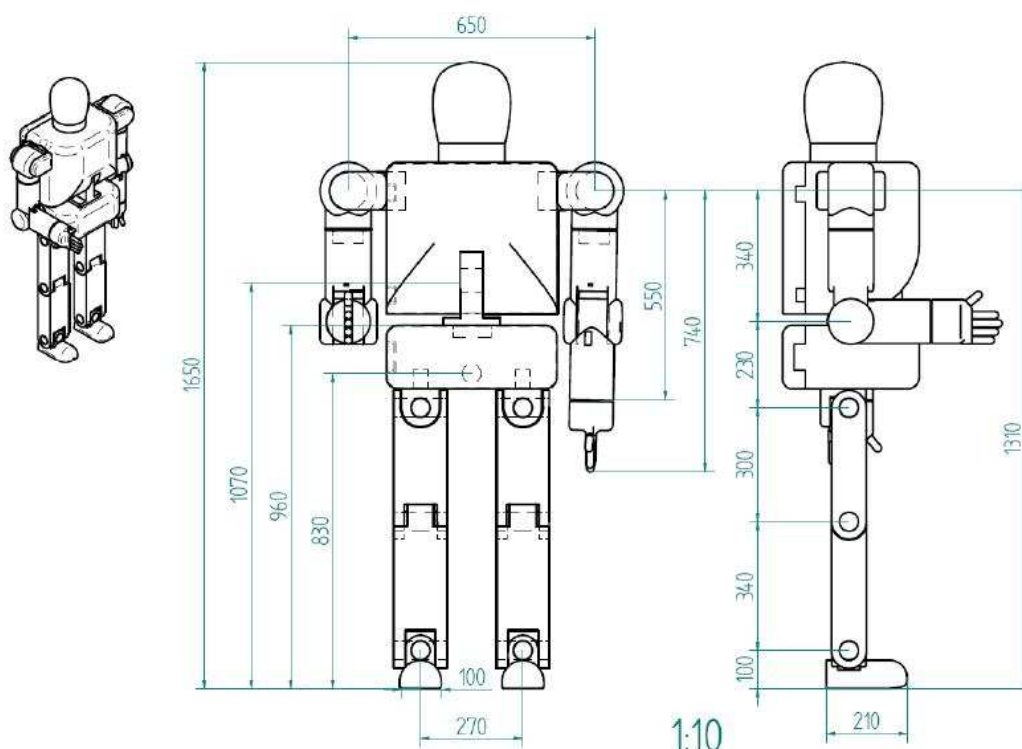


Figura 2.19: Medidas del RH-2

Los anteriores modelos disponían de 21 grados de libertad. El RH-2 pretende incluir tres grados más de libertad. Uno en cada brazo en el plano transversal, que le permite realizar movimientos más parecidos a los humanos. Otro grado de libertad es necesario en el tronco, en su plano frontal, para poder controlar de manera más rápida el balanceo hacia delante y atrás del cuerpo y lograr mantener su centro de masa centrado. Este nuevo grado de libertad dota al robot de la capacidad de plegar más el tronco y poder sentarse [6].

El Robot Humanoide RH-2 es un sistema mecánico de 26 grados de libertad (28 si tenemos en cuenta los motores de la cabeza). Se distribuyen de la siguiente forma por sus extremidades:

- Piernas: dispone cada una de 6 GDL distribuidos entre el tobillo, la rodilla y la cadera. La cadera posee 3 GDL, uno en el plano sagital, otro en el frontal y el tercero en el plano transversal, utilizado en el cambio de dirección del movimiento; la rodilla tiene 1 GDL en el plano sagital, pues no es necesario ningún otro; y el tobillo posee 2 GDL, en los planos sagital, para adaptar el pie al suelo, y frontal

que permite el balanceo junto con el de la cadera para mantener el equilibrio.

- Tronco: el tronco posee 2 GDL, uno en el plano transversal que le permite el giro en ese plano sin tener que mover las piernas, y otro en plano frontal que le permite regular su inclinación.
- Brazos: dispone cada uno de 6 GDL distribuidos entre el hombro, el codo y la muñeca. En el hombro existen 3 GDL en los planos sagital, frontal y transversal, en el codo hay 1 GDL en plano sagital, y en la muñeca existen otros 2 GDL en el plano frontal y transversal.

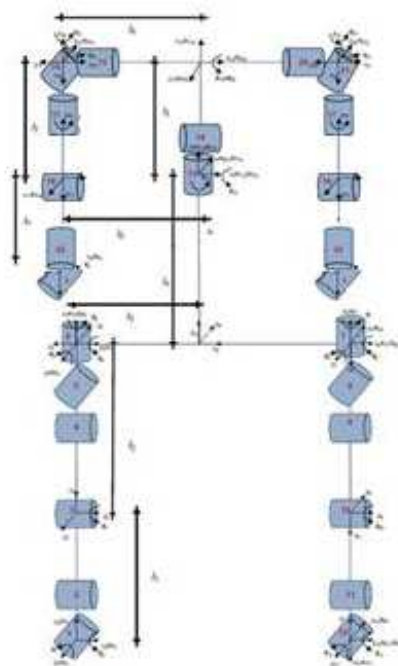
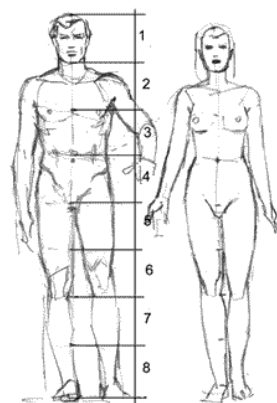


Figura 2.20: Grados de libertad del RH-2

El paso previo a la realización de la estructura mecánica del brazo del robot humanoide, es conocer su anatomía y la del resto de las partes del cuerpo, incluyendo las longitudes adecuadas y la capacidad de movimiento del cuerpo humano.

Para conocer las longitudes de las diferentes partes del cuerpo, hay que tener en cuenta que este se divide en 8 módulos (aproximadamente), siendo cada uno de estos módulos lo que mide la cabeza. A partir de este valor, podemos calcular fácilmente la longitud que deseemos.

Figura 2.21: División del cuerpo humano en módulos



En la *Tabla 2.3* se muestra una relación de las medidas del brazo con el resto del cuerpo, tomando como ejemplo una persona de estatura 175 cm:

Parte del cuerpo	Número de módulos	Longitud (cm)
Cabeza	1	21,875
Torso	2,3	52,5
Hombro a codo	1,5	32,81
Codo a muñeca	1,1	24,06
Mano	0,8	17,5
Cadera a rodilla	2	43,75
Rodilla a tobillo	2	43,75
Pie	0,3	6'56

Tabla 2.3: Longitudes medias de algunas partes del cuerpo humano

El brazo humano es un mecanismo enormemente adaptable, capaz de maniobrar en cualquier posición que se desee. Para ello, tiene tres articulaciones: el hombro, el codo y la muñeca [2].

2.4.1 Anatomía del hombro.

El hombro tiene dos huesos principales, que son el húmero (hueso superior del brazo) y omóplato (paletilla). Los huesos del hombro están conectados por ligamentos (tiras de tejido fuerte fibroso) y los huesos están conectados a los músculos de alrededor por tendones.

Los dos tendones más importantes del hombro son el tendón bíceps, que une el músculo bíceps al hombro, y el tendón supraspina (supraspinatus) que ayuda en la formación del músculo rotatorio.

La mayoría de los movimientos que se efectúan con estos huesos y músculos en el hombro se emularán con tres GDL, impulsados por motores eléctricos.

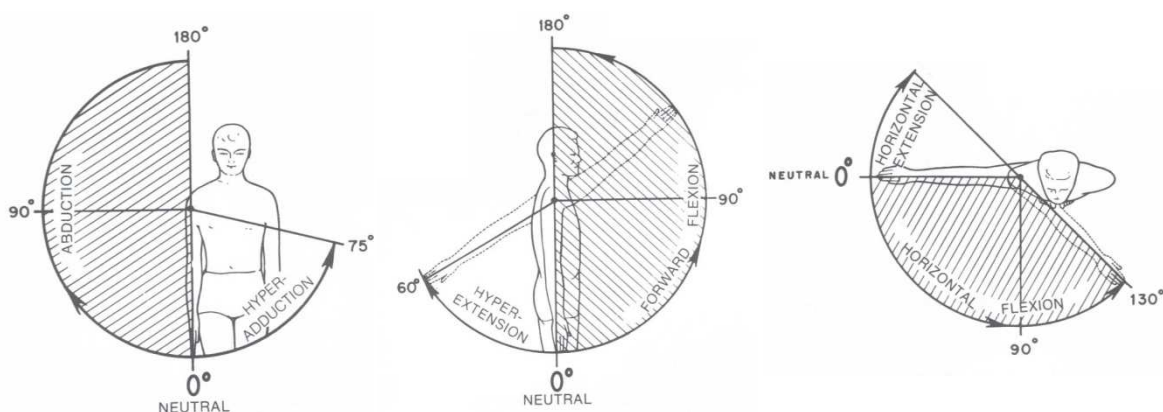


Figura 2.22: Rango de actuación del hombro

2.4.2 Anatomía del codo.

El codo es una articulación de bisagra ubicada entre el extremo inferior del húmero, en la parte superior del brazo y el extremo superior del radio y del cúbito en el antebrazo. El brazo se flexiona y gira en el codo mediante los músculos bíceps de la parte superior del brazo.

Para emular los movimientos del codo se requiere un GDL.

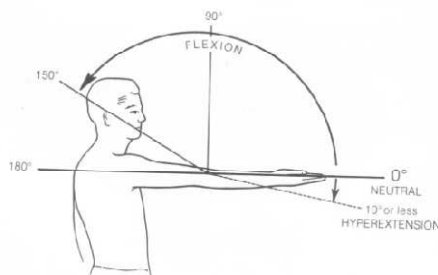


Figura 2.23: Rango de actuación del codo

2.4.3 Anatomía de la muñeca.

La muñeca es la región donde se articula la mano con el antebrazo. Su esqueleto está formado por los extremos inferiores de cúbito y radio y por el carpo. El extremo inferior del radio, está en el lado del pulgar; presenta una carilla para articular con la cabeza del cúbito y otra para la primera fila del carpo. Todos estos huesos están unidos por múltiples ligamentos, dotando a la muñeca de movimientos de flexión, extensión, desviación radial y cubital. Para reproducir este movimiento utilizaremos dos GDL, en los que está incluido el movimiento rotatorio del antebrazo.

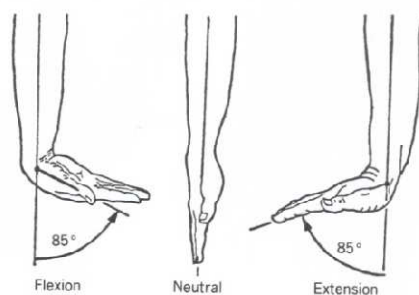


Figura 2.24: Rango de actuación de la muñeca

En la Figura 2.25, se muestran algunos de los músculos y huesos que participan en los movimientos de las articulaciones del brazo mencionadas, así como los GDL distribuidos en el brazo robótico.

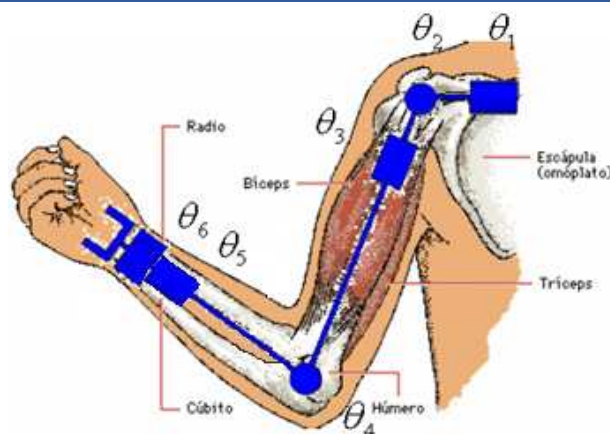


Figura 2.25: Huesos y músculos del brazo humano y grados de libertad implementados.

A modo de resumen, se expone el rango de movilidad de cada grado de libertad en la Tabla 2.5:

Articulación	GDL (°)	Rango de movilidad (°)
HOMBRO	1	-180 a 60
	2	-180 a 75
	3	-90 a 0
CODO	4	-150 a 0
MUÑECA	5	-90 a 90
	6	-85 a 85

Tabla 2.5: Rangos de movilidad del brazo humano

La estructura mecánica del robot ha sido diseñada mediante el programa de diseño 3D, Catia. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño, hasta la producción y el análisis de productos. Inicialmente fue desarrollado para servir a la industria aeronáutica, pero se ha hecho un gran hincapié en el manejo de superficies complejas.

El montaje del robot en su totalidad es una tarea compleja y es difícil que todo funcione perfectamente. Por eso, primero se realizó la parte inferior del RH-2 (piernas y cadera), que es la responsable de que el robot pueda andar, y una vez se consiguió una caminata estable se dio paso a la segunda fase, en la que se acoplarán el torso, los brazos y la cabeza. En la Figura 2.26 puede observarse uno de los brazos del robot.

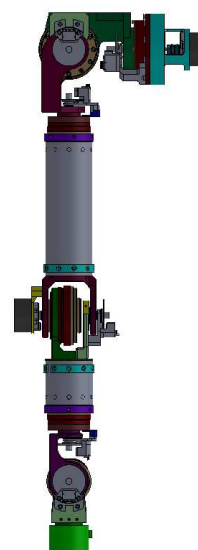


Figura 2.26: Brazo del RH-2

Es necesario un sistema para medir el error de posición entre la posición leída del motor, y la posición real a la salida de las transmisiones. En los proyectos anteriores sólo se recurría a leer el encoder del motor, y no se tenían datos de la posición en la que se encontraba realmente la articulación. La implementación de los sensores de sincronismo para realizar el homing y buscar la posición de referencia de los motores, no se llevó a cabo. Por ello, será necesario introducir otro encoder en cada transmisión. Además, la información de estos sensores debe ser actualizada en tiempo real, por lo que las consultas entre los microprocesadores deben ser lo más rápidas posibles, lo que será posible gracias al protocolo CAN-bus.

Sin embargo, el robot no dispone de demasiado espacio para albergar todo el hardware que requiere. En concreto, los drivers para el control de los motores eran muy voluminosos, teniendo en cuenta que se usaban 21. Ahora se usarán 5 drivers más en principio, y se pretende que el robot sea más ligero y menos voluminoso. Se necesitan drivers ligeros, pequeños, de bajo consumo y que cumplan con las especificaciones de los anteriores o mejores.

En definitiva, se busca una solución para los problemas derivados de las anteriores versiones, y teniéndolos en cuenta, diseñar un nuevo sistema actualizado acorde a las nuevas tecnologías disponibles.



Capítulo 3

Sistemas Hardware

3.1 Arquitectura Hardware del brazo del RH-2.

A continuación se van a definir de forma breve los diferentes sistemas que componen la arquitectura hardware del robot. Cada uno de estos sistemas está compuesto por dispositivos que serán analizados más adelante.

- **Accionadores.** El objetivo principal en el brazo de un robot humanoide es poder imitar los movimientos de un brazo humano y, ya que se trata de un manipulador, poder hacerlo con precisión y a una velocidad adecuada. Los encargados de otorgar este movimiento al robot son los accionadores. Este sistema estará compuesto por motores y dispositivos de transmisión.
- **Sensorización.** Otra función importante en el robot es obtener información, tanto del entorno que le rodea, como de sí mismo. Los dispositivos encargados de obtener dicha información son los sensores.
- **Control motor:** La puesta en marcha y el control de los accionadores se realiza a través de los drivers. Estos dispositivos se comunicarán con los microprocesadores, situados en el torso, que les darán la información necesaria para poner en movimiento los motores.
- **Alimentación.** La alimentación en el brazo del robot se obtendrá directamente del torso, donde estarán incorporadas unas baterías, las cuales deberán ser dimensionadas para poder alimentar a todos los dispositivos durante períodos de tiempo determinados.
- **Comunicación:** Para poder transmitir toda la información adquirida por los sensores y controlar los accionadores, es necesario definir un protocolo de comunicación. En este proyecto se utilizará el protocolo CAN-bus.

En la *Tabla 3.1* se muestra un resumen de los diferentes sistemas utilizados en el brazo del robot humanoide RH-2. Se incluyen los dispositivos encargados de llevar a cabo las funciones de cada sistema:

Función	Sistema	Dispositivo
Acción	Accionadores	Motores
		Transmisión
Información	Sensorización	Sensorización externa
		Sensorización interna
Decisión	Control motor	Drivers
Soporte	Comunicación	CAN-Bus

Tabla 3.1: Sistemas y dispositivos del brazo del RH-2

La arquitectura propuesta para el humanoide se basa en dos microprocesadores como sistema computacional, uno que envía órdenes a las piernas (caminante), y otro a los brazos (manipulador).

El procesador secundario, el manipulador, se encargará de controlar el movimiento de los brazos. También será el encargado de controlar y recibir información del entorno, para una vez procesados estos datos actuar en consecuencia y llevar a cabo tareas de manipulación de objetos, evitar obstáculos, navegación, etc. Dispondrá de dos tarjetas PCI. La función de la primera de ellas será controlar los motores de los brazos y el tronco a través de las redes CAN-bus. La otra tarjeta PCI se utilizará para comunicar los sensores fuerza-par-aceleración y el microprocesador.

Con esta arquitectura se quiere conseguir un sistema distribuido entre dos microprocesadores principales, que a su vez estén conectados con los microprocesadores de los drivers y encoders. El objetivo de esta división del sistema es obtener un mayor rendimiento y velocidad de cálculo para cada una de las partes.

Para realizar un control sobre la posición de los motores se utilizarán encoders absolutos. Si se conoce la posición del motor, se puede conocer la posición absoluta de la articulación. Estos encoders absolutos irán colocados en el eje de la articulación, dónde pueden medir la posición angular.

Los motores a utilizar serán motores brushless CC (sin escobillas) de diseño plano que dispondrán de sensores Hall para medir la posición relativa del mismo. A cada motor se le acoplará un encoder relativo en su eje, que funcionando junto con los sensores Hall será capaz de medir la velocidad del motor. Estos dispositivos serán controlados por un driver que será el encargado de procesar la información recibida.

Junto a los anteriores dispositivos para obtener información de la posición del robot, se encuentran los sensores de fuerza-par. Estos sensores se situarán en las muñecas del robot. Su objetivo es calcular la fuerza y el par que ejercen los puntos de apoyo del robot.

En la *Figura 3.1* se muestra un esquema de la arquitectura hardware propuesta.

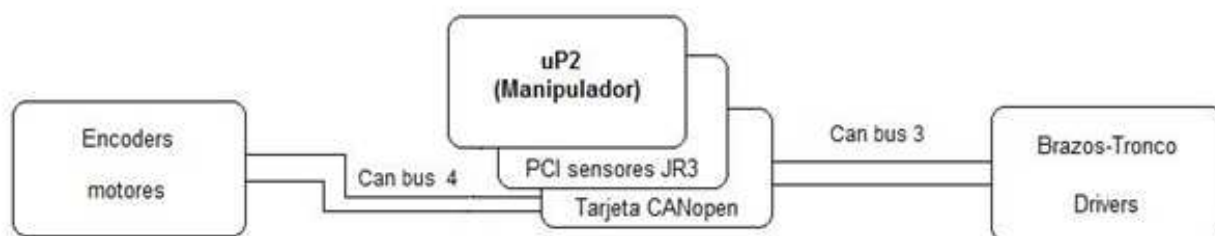


Figura 3.1: Arquitectura Hardware del manipulador

3.2 Descripción de los sistemas electrónicos del RH-2.

En este apartado se analizarán los componentes a utilizar en los diferentes sistemas del robot [6] y [7].

3.2.1 Accionadores.

1) Motores.

Los motores son el principal dispositivo del sistema accionador. Para este proyecto se han seleccionado motores Brushless de corriente continua sin escobillas de la marca Maxon, los cuales poseen un diseño sencillo ultra plano que permite una mayor facilidad para su colocación en el humanoide. Este tipo de motores poseen rotor externo, sus características principales son las siguientes:

- Vida útil insuperable.
- Relativamente alta inercia.
- Altas velocidades incluso a bajos voltajes.
- Bajo rizo de par (bobinado con núcleo de hierro).
- Conmutación electrónica en bloques.
- Buen precio.



Figura 3.2: Motores Brushless DC planos de Maxon

Los motores planos de rotor externo se utilizan para diferentes aplicaciones en la industria, principalmente en escáner de código de barras, robótica, muestreo de aire, cintas transportadoras, etc.

En el robot humanoide RH-2 se utilizarán varios tipos de motores, en función de su potencia y par motor. Como ya se mencionó anteriormente, cada brazo del robot llevará montados seis motores, siendo el montaje el mismo para ambos brazos.

La parte superior o manipuladora poseerá dos tipos de motores, uno de 30 W y otro de 50 W. En la *Tabla 3.2* se muestra la distribución de los motores por cada articulación, donde además se pueden distinguir los grados de libertad existentes en cada brazo:

Articulación	Eje de movimiento	Tipo motor	Alimentación	Par motor (mNm)
Hombro	Axial	251601	24	84,3
	Sagital	251601	24	84,3
	Frontal	251601	24	84,3
Codo	Sagital	251601	24	84,3
Muñeca	Sagital	200142	12	25,5
	Frontal	200142	12	25,5

Tabla 3.2: Distribución de los motores del brazo del RH-2

Las conexiones a los motores se harán de la siguiente manera:

PIN	CONEXIÓN	
	MOTOR 251601 (50W)	MOTOR 200142 (30W)
1	Hall Sensor 1	5 Vdc
2	Hall Sensor 2	Hall Sensor 3
3	5 Vdc	Hall Sensor 1
4	Motor Winding 3	Hall Sensor 2
5	Hall Sensor 3	GND
6	GND	Motor Winding 3
7	Motor Winding 1	Motor Winding 2
8	Motor Winding 2	Motor Winding 1

Tabla 3.3: Conexión de los motores del brazo del RH-2

2) Transmisión.

Para transmitir el movimiento del motor a los ejes se han elegido reductores CSD de la casa Harmonic Drive LLC. Este modelo es la siguiente versión a la serie CSF, la cual era cuatro veces más gruesa. Además esta serie de reductores tienen otras características:

- Diseño simple y compacto.
- Exactitud de posicionamiento extremadamente alta.

- Buena fiabilidad y precisión en la transmisión del movimiento.
- Juego cero.

3.2.2 Sensorización.

Unos de los dispositivos electrónicos que forman el RH-2 son los sensores, su objetivo principal es obtener información. Con los datos obtenidos, el robot será capaz de controlar el movimiento de los motores, conocer la posición de las articulaciones en cada momento, si se encuentra algún obstáculo, etc.

Dependiendo del tipo de los datos obtenidos se pueden distinguir dos clases de sensores. Los que dan información sobre componentes del propio robot, sensorización interna, y los que se ocupan de registrar señales provenientes del entorno, sensorización externa.

3.2.2.1 Sensorización interna.

Es necesario conocer la posición de cada una de las articulaciones, para ello se ha de medir la posición angular. Esta posición ha de obtenerse en términos absolutos, para conocer donde están realmente los eslabones y poder generar las trayectorias correctamente. Conociendo la posición absoluta, no es necesario un sistema de sincronismo como el que utilizaba el RH-1.

En el eje de cada articulación, tendremos el motor y los encoders absoluto y relativo.

El encoder relativo acoplado al eje del motor se encargará de medir la posición relativa de la articulación, mientras que la misión del encoder absoluto acoplado al eje de la articulación, será medir la posición absoluta.

Los datos obtenidos por el encoder relativo serán enviados directamente al driver que controla al motor mediante el CAN-Bus. Sin embargo, para transmitir la información obtenida por el encoder absoluto, será necesario un sistema de adaptación para enviar la señal, y se conseguirá mediante un microcontrolador y un transmisor-receptor.

A continuación se estudiarán más a fondo los dispositivos electrónicos que componen el sistema de medición de la posición articular.

- a) Encoder relativo.

Los encoder relativos seleccionados serán de la marca Renco, modelo RCML15. La serie RCML combina los pulsos de conmutación de los motores brushless y la retroalimentación de posición incremental. Esta característica reduce el coste, mientras que mejora el rendimiento y la fiabilidad. El bajo perfil que posee el encoder hace que sea perfecto para los diseños donde el espacio es crítico.



Figura 3.3: Encoder Relativo RENCO RCML15

Además posee otras características:

- Bloqueo del deslizamiento patentado para una fácil instalación.
- Capaz de medir hasta 5000 pulsos por vuelta.
- 2 canales de datos.
- Frecuencia de respuesta de 500 KHz.
- 3 canales de conmutación.

Las conexiones en el encoder relativo son las siguientes:

PIN	CONEXIÓN
1	No Conectado
2	No Conectado
3	No Conectado
4	B
5	5 Vdc
6	A
7	No Conectado
8	GND

Tabla 3.4: Conexión de los encoders relativos del brazo del RH-2

b) Encoder absoluto.

El encoder absoluto elegido será de la marca Avago Technologies, el modelo 7500 AEAS. Este dispositivo, además de caracterizarse por su reducido tamaño, alta precisión y montaje modular formado por un disco y la cabeza lectora, permite una fácil adaptación a nuestro diseño. Otra característica principal de este encoder es que es capaz de medir la posición

desde 0° hasta 360° y con una precisión de 16 bits, codificada en código Gray.

Las demás características principales de este dispositivo son las siguientes:

- Dos salidas diferenciales seno/coseno.
- 11 salidas digitales más dos salidas de seno/coseno, generan un código Gray preciso de 16 bits.
- Ultra rápido. Envío de datos en serie a 1MHz.
- 12 bits de resolución para velocidades hasta 12000 rpm y 16 bits para velocidades inferiores a 10000 rpm.
- El bit más significativo puede ser invertido.



Figura 3.4: Encoder Absoluto AEAS 7500

Las conexiones en el encoder absoluto serán 22, y estarán controladas por el microcontrolador citado en el punto siguiente. Finalmente, sólo transmitiremos las señales del CAN-Bus:

PIN	CONEXIÓN
1	GND CAN A
2	CANH
3	CANL
4	GND CAN B
5	5 Vdc
6	GND

Tabla 3.5: Conexión de los encoders absolutos del brazo del RH-2

c) Microcontrolador.

El controlador elegido es el modelo PIC 18F2580 de la marca Microchip. Su objetivo será gestionar y construir los mensajes para transmitir los datos obtenidos por el encoder absoluto.

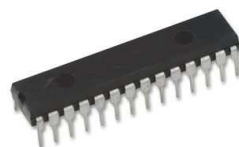


Figura 3.5: Controlador PIC 18F2580

Este tipo de controladores poseen las siguientes características principales:

- Permite una tasa de transferencia de 1Mbps.
- Tres buffer dedicados a la transmisión y dos para la recepción.
- Incluye cuatro timers.
- Integra el protocolo CAN.
- Reducido tamaño, bajo consumo y alta fiabilidad.
- Flexibilidad en la frecuencia del reloj, hasta 40MHz.

Este tipo de controladores suelen utilizarse en los nodos de los sistemas eléctricos de los automóviles. Esto demuestra que son microprocesadores sencillos y muy probados.

d) Transmisor-receptor.

Se ha elegido un transmisor-receptor de la marca Philips, el modelo seleccionado es el PCA82C250, el cual está pensado para el funcionamiento junto a un controlador con protocolo Can bus. En este caso su misión será el enlace físico con el bus de CAN.



Figura 3.6: Transmisor-receptor PCA82C250

Es necesario amplificar y acondicionar la señal de salida del controlador para transmitirla sin problemas por el bus. Además este dispositivo ofrece aislamiento térmico y eléctrico entre el bus y el controlador. Este sistema también es muy usado en los sistemas eléctricos del automóvil.

3.2.2.2 Sensorización externa.

Para que el robot pueda tomar datos del entorno, hacen falta sensores específicos para ello. La diferente información que se puede obtener trataría de simular algunas funciones humanas, como la vista, el oído y el tacto.

Una parte importante en este proyecto, teniendo en cuenta que se trata de un robot manipulador, será el sensor de fuerza-par. Se considera como externo ya que, a pesar de que la información sirva para el funcionamiento interno del robot, se tomarán datos de carácter exoceptivo.

Los sensores elegidos para la medición de la fuerza y el par que ejercen los puntos de apoyo son el modelo JR3 de la marca JR3 Inc. El RH-2 dispondrá de cuatro sensores, dos de ellos colocados en las muñecas y otros dos colocados en los tobillos.



Figura 3.7: Sensor Fuerza-Par

Este tipo de sensores poseen seis grados de libertad, por lo que mide los pares y las fuerzas en los ejes del espacio cartesiano XYZ. Los datos de salida del sensor de fuerza-par serán en formato digital, ya que se encargará de convertirlos el circuito interno del sensor. Será capaz de medir una fuerza máxima de 30Kgs-fuerza, teniendo una resolución de menos de 10gr-fuerza.

Hay que tener en cuenta que la conexión entre el sensor y el conector que recibirá la información se realizará mediante un cable RJ-11, que dispondrá de 6 pines y además tendrán el orden contrario. Por lo tanto, la conexión quedaría de la siguiente manera:

PIN	SENSOR	CONECTOR
1	DCLK+	DATA-
2	DCLK-	DATA+
3	8 Vdc	PWR COM
4	PWR COM	8 Vdc
5	DATA+	DCLK-
6	DATA-	DCLK+

Tabla 3.6: Conexión de los sensores Fuerza-Par del RH-2

3.2.3 Sistemas de control.

La información obtenida por el sistema de sensorización del RH-2 ha de ser clasificada y procesada. Esta función la lleva a cabo el sistema computacional, formado principalmente por dos microprocesadores dedicados a la gestión de los brazos y las piernas del robot. Otra posible función será gestionar sistemas de video y audio.

Existen otros elementos de control en el robot, los drivers. Estos dispositivos se encargarán de enviar y recibir las señales necesarias para el funcionamiento de los motores. El sistema será individualizado, es decir, cada motor tendrá asociado un único driver para su control.

Para poder poner en funcionamiento los motores, previamente es necesaria una programación del driver.

Un driver es un actuador que se encarga de regular el flujo de intensidad que recibe el motor según las ordenes que reciba éste de la unidad central de control, para poder realizar los movimientos del robot de forma deseada.

Se necesita un driver de pequeñas dimensiones para poder ubicarlo dentro del humanoide. Además, el driver ha de proporcionar la suficiente potencia para alimentar a los motores encargados del movimiento de las articulaciones y poseer una gran capacidad de programación para el manejo de los motores.

El dispositivo seleccionado para el control de los motores es el modelo ISCM8005 de la marca Technosoft. Es un servo driver que proporciona un controlador de movimiento con funciones PLC incluidas y un amplificador, en una unidad muy compacta. El formato de los drivers ISCM es ideal para montar en aplicaciones donde se dispone de un espacio reducido, como es el caso de este proyecto.



Figura 3.8: Driver ISCM 8005

Gracias a su controlador integrado, este dispositivo puede ser programado fácilmente para ejecutar de forma autónoma complejos comando de control de movimientos.

Las características principales del driver son las siguientes:

- Adecuado para motores CC, brushless y de pasos.
- Permite determinar la posición, velocidad y controlar el par.
- La tensión de alimentación del motor es de hasta 80V.
- Protecciones contra sobretensiones, cortocircuitos, fallos de masa, etc.
- Capacidad de soportar altas corrientes (5 A nominales, 16,5 A de pico) necesarias para ejecutar los pares de movimiento del robot.
- Posee conexión a puerto serie RS-232, para conectarlo con el PC.
- Tiene 8 entradas/salidas digitales programables y 2 entradas analógicas programables.
- Posibilidad de comunicación mediante CAN-bus 2.0 hasta 1Mbps.
- Varios modos de control.
- Lenguaje propio (TML) para el control de los motores.
- 33 modos de búsqueda de posición inicial.
- Reducido tamaño, 70x50mm.

Las aplicaciones para este tipo de drivers son muy variadas, sistemas distribuidos con control inteligente de motor, imprenta, fábricas de automatización, industria textil, automoción, etc.

El poseer un lenguaje propio para el control de los motores es una gran ventaja, ya que permite crear funciones y programas que pueden ser llamados desde la unidad de control. Además se pueden definir tablas

almacenadas en la memoria EEPROM del driver para ser ejecutadas en cualquier momento.

3.2.4 Comunicaciones.

Respecto a las comunicaciones, como parte del soporte del sistema, es vital conseguir la máxima velocidad posible. La consulta de datos es constante entre los distintos dispositivos conectados al Can Bus y entre los microprocesadores. También debe existir una comunicación del sistema con el exterior, a través de una red externa, a ser posible inalámbrica.

La comunicación entre los encoders de cada motor y los drivers que los controlan se realizará mediante el protocolo CAN bus. Este tipo de comunicación bidireccional ha de ser rápida y fiable, ya que debe controlar el tráfico masivo de información y actuar atendiendo a las preferencias de los mensajes.

La conexión ha de ser sencilla y con poco cableado, ya que los encoders y motores se encontrarán en zonas alejadas y móviles, y hay que evitar problemas durante el movimiento.

3.3 Descripción de las conexiones y protecciones necesarias.

Además de los componentes anteriormente mencionados, se han añadido otra serie de protecciones y conexiones necesarias para un correcto funcionamiento del humanoide y para reaccionar ante posibles fallos. A continuación se describen las más importantes [7] y [8].

3.3.1 Conexión entre placas de una articulación (Circuitos impresos flexibles).

Para llevar a cabo estas conexiones, se ha optado por el empleo de circuitos impresos flexibles. La principal característica de este tipo de circuitería es que pueden ser amoldados para ser encajados en donde ningún otro circuito impreso podría hacerlo. Podríamos decir que los circuitos flexibles son como un PCB híbrido, resultante de la combinación de un PCB rígido junto con un conexionado de cables, tomando las mejores cualidades de cada uno.

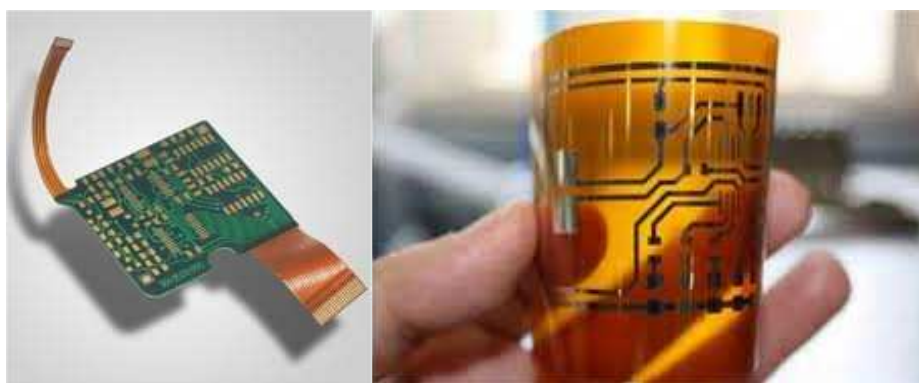


Figura 3.9: Circuitos flexibles

En esencia, los circuitos impresos flexibles nos aportan entera libertad de empaquetado de forma manteniendo la precisión de los circuitos impresos convencionales.

A continuación se muestran las ventajas de los circuitos impresos flexibles:

1) Ventajas frente al conexionado de cables:

- Reducción de espacio y peso: un circuito impreso flexible puede reemplazar a varios circuitos impresos rígidos, cables y conectores.
- Ensamblaje rápido: los circuitos impresos flexibles eliminan la necesidad de tener identificados los cables con colores, reduciendo el margen de error así como confusiones. Los costes de instalación son menores, especialmente cuando se trata de volumen.

- Conexiones robustas: los conductores planos disipan mucho mejor el calor, transportando más corriente si los comparamos con los cables y tomando como estudio la misma sección.

2) Ventajas frente al circuito impreso convencional:

- Versatilidad en la forma: los circuitos flexibles tienen la capacidad de asumir configuraciones tridimensionales.
- Menos masa y espacio: los circuitos flexibles pueden ocupar hasta un 75% menos del espacio que ocuparía el circuito impreso convencional.
- Resistente a las vibraciones: al ser los circuitos flexibles más resistentes a las vibraciones que un PCB convencional, los costes de reparación que se derivan son menores.

Cabe destacar que los circuitos flexibles pueden ser de una capa o multicapa. En este proyecto, para reducir costes, se ha optado por la opción de una capa.

3.3.2 Conexión entre articulaciones.

Inicialmente se diseñaron los circuitos impresos conexiados mediante conectores de líneas de señal y un conector aparte encargado de la línea de potencia, lo que propiciaba demasiado espacio ocupado en cada placa y una enorme cantidad de cables entre articulaciones. Teniendo en cuenta que se trata del brazo de un robot manipulador, esta solución no resultaba viable, debido a que con la cantidad de giros que puede hacer cada articulación del brazo se podría quedar alguno de los cables enganchado con alguna parte del robot o desconectarse.

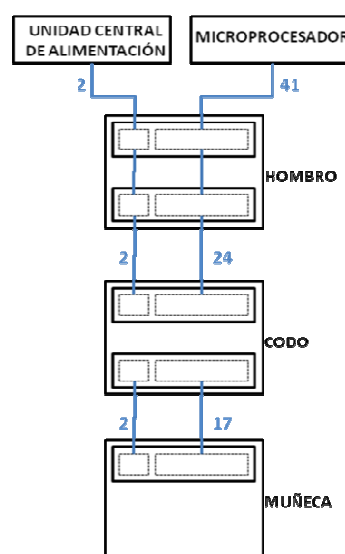


Figura 3.10: Buses de alimentación y comunicación

Para evitar este problema, se han sustituido todos los conectores entre placas por uno que los aunara a todos, incluida la línea de potencia (como se puede apreciar en la *Figura 3.10*), que además sea capaz de soportar una corriente máxima de aproximadamente 15A.

El conector que mejor se adapta a las necesidades de nuestro diseño es el Samtec de la serie MPSC / MPTC. Tendrá dos pines de potencia (+36Vdc y GND) capaces de soportar hasta 23'2 A cada uno, y la cantidad de pines de señal variará entre 24 y 80.

Para la conexión entre muñeca y codo, y codo y hombro, utilizaremos los de 24 líneas, y para la conexión del hombro al torso, al haber 41 líneas

utilizaremos el de 80, que es el único capaz de satisfacer nuestras necesidades.

Entre estas líneas de señal, tendremos cuatro que serán las necesarias para la comunicación por el Can-bus (CAN_H, CAN_L y dos tierras para aislar la comunicación).



Figura 3.11: Conector SAMTEC MPSC / MPTC

3.3.3 Conexión entre el codo y el interior del brazo.

Esta conexión se realizará mediante conectores Microfit de la marca Molex. Soportan una corriente máxima de 5 A por contacto y una tensión máxima de 250 V, y además son de un tamaño reducido, lo que los convierte en unos conectores ideales para nuestro propósito.

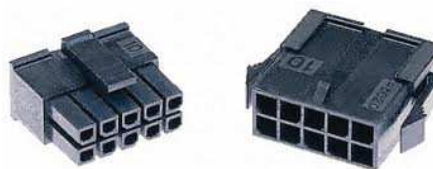


Figura 3.12: Conector Microfit de Molex

Se realizarán dos conexiones:

- Microfit de 6 pines: lo utilizaremos para transmitir el Can-BUS (CAN_H, CAN_L y dos tierras) y la alimentación de 36 Vdc. Para esta última emplearemos dos de los pines del conector, para asegurar que en el interior del brazo exista la corriente necesaria.
- Microfit de 10 pines: lo utilizaremos para transmitir las señales del motor y el encoder situados en el interior del tubo del antebrazo, además de 5Vdc y masa.

3.3.4 Conexión de los motores.

Para los motores utilizaremos conectores de la marca Molex. Los motores de 30 W utilizarán uno de los conectores recomendados por el fabricante, de tipo FFC y de 11 contactos. En los motores de 50 W, en cambio, el fabricante recomienda la utilización de un conector Minifit, capaz de soportar más corriente por contacto, aunque por cuestiones de tamaño se ha decidido utilizar los Microfit de 8 pines.

3.3.5 Conexión del encoder absoluto.

Como ya se mencionó anteriormente, los encoders absolutos han de ser montados en el eje de la articulación.

Para adaptar las señales enviadas por los encoders, serán necesarios unos circuitos formados cada uno de ellos por un PIC, un transmisor-receptor y un circuito de acondicionamiento. Todos estos componentes, junto con el encoder serán montados en una placa cercana a la articulación correspondiente. Los datos procesados por estos conjuntos serán enviados al driver a través del Can-bus. Para reducir el espacio ocupado, se utilizarán conectores FFC de la marca Molex, concretamente el modelo de cuatro contactos (CAN_H, CAN_L y dos tierras para aislar la comunicación), con un paso de 0.5 mm y montaje superficial. El cable que ha de usarse para estos reducidos conectores es de la marca Molex, ofrece gran flexibilidad, una característica importante para poder posicionarlo más fácilmente en el robot.

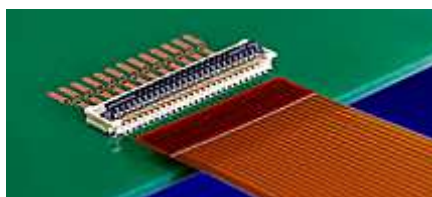


Figura 3.13: Conector FFC

3.3.6 Conexión del encoder relativo y del sensor fuerza-par.

Estas conexiones se realizarán mediante conectores de la marca Tyco-Electronics, siendo de 8 pines para los encoders relativos y de 6 pines para el sensor.



Figura 3.14: Conector Tyco_Electronics

3.3.7 Reductor de tensión.

La tensión de +36Vdc se utilizará para alimentar a los drivers y con ello los motores, pero hay componentes en el circuito que necesitan +5Vdc para su correcto funcionamiento.

Para conseguirlo, necesitamos de reductores de tensión con la suficiente potencia para alimentar diferentes componentes, como pueden ser los encoders relativo y absoluto, las señales digitales y analógicas del driver y los sensores Hall de los motores. Se ha elegido un reductor de la marca TRACO POWER, que nos ofrece una corriente de salida de 600 mA.

Para el sensor fuerza-par de la mano, necesitaremos un reductor de tensión a +8Vdc, que será su tensión de alimentación. En este caso, se ha elegido un reductor de tensión variable, puesto que no hay en el mercado uno que se adapte a nuestras necesidades. Será de la marca TEXAS INSTRUMENTS, de montaje superficial y con una corriente de salida de 1'5 A. La configuración es la que se muestra en la *Figura 3.15*, en la que para regularlo a la tensión de salida de +8Vdc, se necesita una resistencia $R_{set}=5k9$.

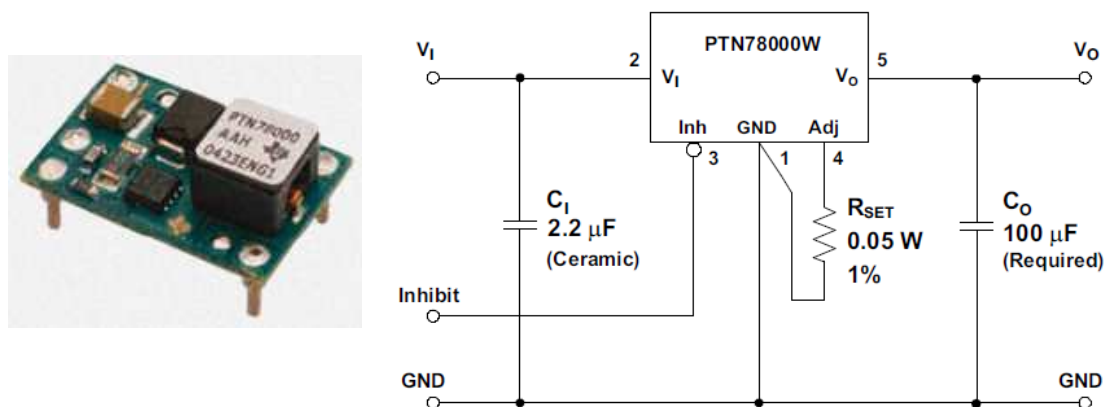


Figura 3.15: Reductor de tensión variable

3.3.8 Supresor de transitorio.

El driver posee una protección interna contra sobretensiones, cortocircuitos y demás posibles fallos del sistema. Pero para asegurar una mayor protección se han añadido supresores de sobrevoltajes transitorios en la alimentación que también protegerán al resto de componentes.

Los sobrevoltajes transitorios pueden originarse por maniobras de conexión o desconexión, descargas atmosféricas y descargas electrostáticas. Éstas pueden dañar el aislamiento de transformadores, motores, condensadores, cables y ocasionar fallos en la transmisión por la ionización del aire. Los supresores de sobrevoltajes transitorios protegen al equipo electrónico dentro de unos límites de voltaje determinados. Por lo tanto, dejará pasar el voltaje necesario para el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, pero protegerá el equipo ante posibles subidas de tensión a partir de un voltaje de ruptura determinado.

Se han seleccionado dos supresores diferentes, en función de las alimentaciones necesarias para el funcionamiento del humanoide. El modelo SMBJ36A, para la alimentación de los motores, y el modelo SMBJ5.0A para la alimentación secundaria, ambos del fabricante Vishay. En la *Tabla 3.7* se recogen las principales características de ambos supresores.

Características	SMBJ5.0A	SMBJ36A
Tensión de corte inversa máxima	36 V	5 V
Tensión de ruptura mínima	40 V	6.4 V
Tensión residual máxima	58.1 V	9.2 V
Corriente de pulsos de pico máxima	10.3 A	65.2 A
Tipo de dirección	Unidireccional	Unidireccional
Tipo de montaje	Superficial	Superficial

Tabla 3.7: Características supresores de transitorio.

3.4 Listado de componentes.

En la *Tabla 3.8* se muestran los componentes necesarios para la implementación de las placas del brazo.

COMPONENTES	REFERENCIA	FOOTPRINT	DESCRIPCIÓN
CONECTORES			
MiCRO-fit 6 pines	233-2898 (RS)	MICRO_FIT_CON_6	Alimentación
MiCRO-fit 8 pines	233-2905 (RS)	MICRO_FIT_CON_8	Motores 50W
MiCRO-fit 10 pines	233-2911 (RS)	MICRO_FIT_CON_10	Comunicación
FFC 6 pines	702-5431 (RS)	FFC_CON_6.05	Encoder absoluto
FFC 10 pines	702-5441 (RS)	FFC_CON_10.05	Comunicación
FFC 11 pines	670-6745 (RS)	FFC_CON_11.1	Motores 30W
Micro match 6 pines	680-5123 (RS)	MICRO MATCH 6_2	Sensor F/P
Micro match 8 pines	680-5132 (RS)	MICRO MATCH 8_2	Encoder relativo
Jumper	251-8569 (RS)	JUMPER_100	
Conector Driver	E-TEC ECC-034-S100-01	DRIVER_CON	Driver
Ventilador	679-5515 (RS)	VENTILADOR	Conector al ventilador
SAMTEC (2P - 24S) HEMBRA	MPSC 01-24-01-7.70-01-L-V-LC (SAMTEC)	SAMTEC 24	Conector entre articulaciones
SAMTEC (2P - 80S) HEMBRA	MPSC 01-80-01-7.70-01-L-V-LC (SAMTEC)	SAMTEC 80	Conector entre articulaciones
SAMTEC (2P - 24S) MACHO	MPTC 01-24-01-6.30-01-L-V-LC (SAMTEC)	SAMTEC 24 TERMINAL	Conector entre articulaciones
COMPONENTES			
Diodo TVS 5V	628-7304 (RS)	SMBJ	Protección 5V
Diodo TVS 36V	631-1025 (RS)	SMBJ	Protección 36V
Reductor 36V-5V	666-3988 (RS)	REDUCTOR	Reducción de 36 a 5V
Reductor 36V-8V	661-8165 (RS)	REDUCTOR_VARIABLE	Reducción de 36 a 8V
RESISTENCIAS			
120	678-9718 (RS)	RESIST	Resistencia CANBUS
5K9	678-9487 (RS)	SM/C_0402	Resistencia del reductor
CONDENSADORES			
100uF	537-0540 (RS)	COND_100U/50V	Condensador del reductor y driver
2,2uF	691-1215 (RS)	SM/C_1206	Condensador del reductor

Tabla 3.8: Listado de componentes

3.5 Consumo de potencia.

[7] y [8] Para poder dimensionar las baterías, se han de conocer primero los consumos de cada uno de los dispositivos a utilizar en el robot. A continuación, se muestra la *Tabla 3.9* con las potencias consumidas por cada grupo de componentes en cada brazo:

MANIPULADOR	Tensión (V)	Corriente Nominal (A)	Corriente Máxima (A)	Potencia Nominal (W)	Potencia Máxima (W)	Unidades	Potencia Nominal Total (W)	Potencia Máxima Total (W)
Controlador PIC 18F2580 a 40Mhz	5	0,038	0,044	0,19	0,22	6	1,14	1,32
Transmisor/Receptor PCA82C250	5	0,0001	0,00017	0,0005	0,00085	6	0,003	0,0051
Encoder Absoluto AEAS 7500	5	0,025	0,03	0,125	0,15	6	0,75	0,9
Encoder Incremental Renco	5	0,055	0,055	0,275	0,275	6	1,65	1,65
Motor Maxon 200142	12	2,14	2,5	25,68	30	2	51,36	60
Motor Maxon 251601	24	2,36	2,78	42,48	50	4	169,92	200
Driver ISCM8005	24	2,36	5	56,64	120	2	113,28	240
Reductor de tensión 36Vdc a 5Vdc	5	0,6	0,6	3	3	3	9	9
Reductor de tensión 36Vdc a 8Vdc	8	1,5	1,5	12	12	1	12	12
Sensor F/P	8	0,111	0,111	0,888	0,888	1	0,888	0,888
POTENCIA TOTAL							359,991	525,76

Tabla 3.9: Consumos de potencia por cada brazo



Capítulo 4

Diseño e implementación

4.1 Herramientas de diseño.

4.1.1 SolidWorks.

Es una herramienta de diseño basada en operaciones, para el modelado de sólidos, que aprovecha la facilidad de uso de la interfaz gráfica del usuario de Windows.

Ofrece la posibilidad de diseño y ensamblaje de piezas pequeñas, generando un intuitivo proceso con las peculiaridades de modelos reales diseñados. Solidworks permite diseñar piezas que a su vez pueden ensamblarse entre sí. Además, se puede destacar su gran flexibilidad y manejabilidad en caso de diseños con gran número de componentes. Solidworks permite la modificación de piezas pertenecientes a ensamblajes sin necesidad de realizar nuevos montajes. Con esto, se agiliza el diseño ya que permite la introducción de mejoras no previstas.

Su facilidad en el manejo y aprendizaje hace que disminuya la dificultad en la creación de piezas que, a priori, pueden resultar complicadas.

Por último cabe destacar la posibilidad de generación automática de planos a partir de piezas en 3D.

El flujo de trabajo que seguiremos será el siguiente:

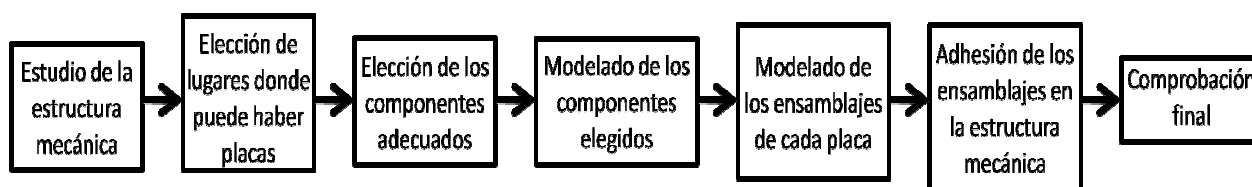


Figura 4.1: Flujo de trabajo en SolidWorks

- Estudio de la estructura mecánica: el primer paso será analizar que componentes mecánicos y cuantos grados de libertad definen la estructura.
- Elección de lugares donde puede haber placas: servirá para hacernos una idea del número de placas que podemos utilizar y del tamaño de estas.
- Elección de los conectores adecuados: se elegirán atendiendo a las características que más se adecúen para una placa, como son el tamaño, si son de agujero pasante o de superficie, tipo de conexión (pines o FFC), etc.
- Modelado de los componentes elegidos: la mayoría de ellos se pueden obtener de Internet, aunque habrá algunos que se modelarán (de manera básica) según las medidas que ofrece el fabricante [3].

- Modelado de los ensamblajes de cada placa: se harán placas de las medidas obtenidas en el apartado anterior, sobre la cual se situarán los componentes específicos de cada una de ellas [3].

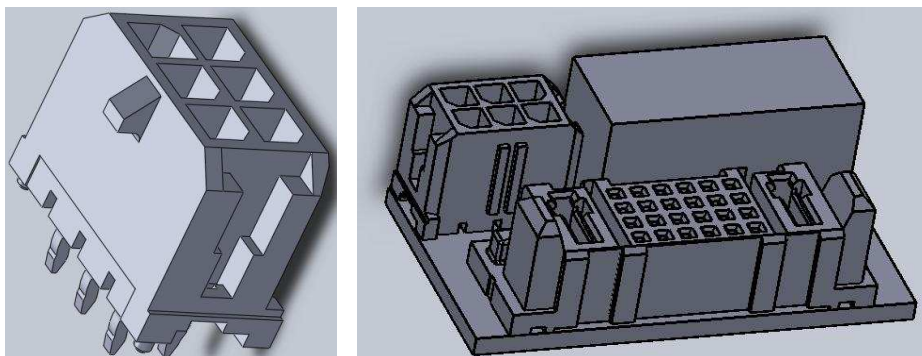


Figura 4.2: Modelado de un componente (a la izquierda) y modelado del ensamblaje de una placa (a la derecha)

- Adhesión de los ensamblajes en la estructura mecánica: consistirá en colocar las placas en su lugar correspondiente de la estructura mecánica [3].

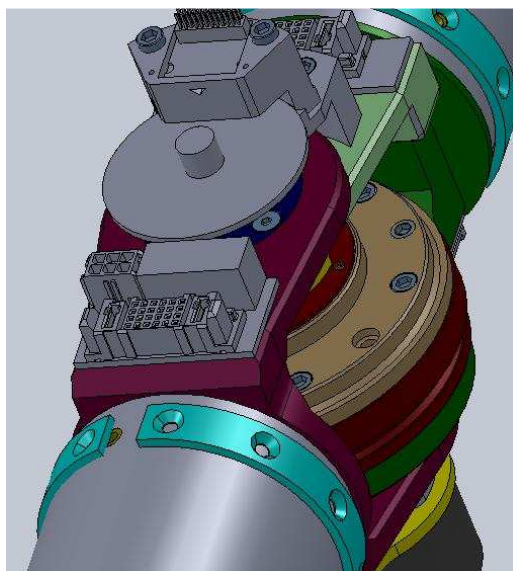


Figura 4.3: Ensamblaje de una placa a la estructura mecánica

- Comprobación final: comprobar que están todos los componentes situados en zonas donde no se puedan producir cruces de cables y que nuestro diseño sea válido.

En la *Tabla 4.1* se mostrarán los modelos de los diferentes tipos de componentes utilizados. Hay que tener en cuenta que solo se ha puesto uno de cada tipo de componente, sin tener en cuenta el número de pines.

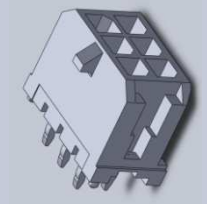
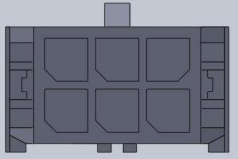
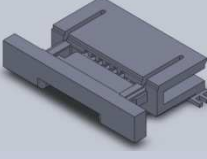
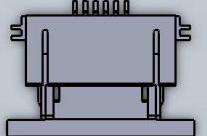
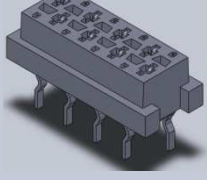

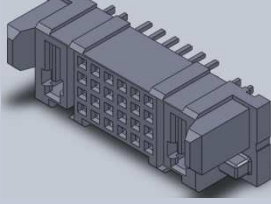

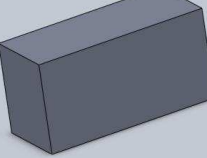

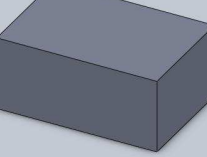



COMPONENTE	VISTA 3D	VISTA DESDE ARRIBA
MICROFIT (6, 8 y 10 pines)		
FFC (6, 10 y 11 pines)		
MICRO MATCH (6 y 8 pines)		
MPSC / MPTC (24 y 80 pines de señal)		
Reductor 36V a 5V		
Reductor 36V a 8V		
Driver		

Tabla 4.1: Modelado de componentes

4.1.2 OrCAD.

Las herramientas CAD (Diseño Asistido por Computadora, de sus siglas en inglés Computer Aided Design) son asociadas por la mayoría con el dibujo, sin embargo, dado que el diseño incluye otras fases, el término CAD es empleado tanto para el dibujo, como para el resto de las herramientas que ayudan al diseño.

El gran impacto que han producido las herramientas CAD sobre el diseño de circuitos electrónicos ha producido que un gran número de compañías dedicadas a la fabricación de software hayan sacado al mercado programas dedicados a esta rama.

OrCAD es una de las más completas aplicaciones que se puede encontrar para diseñar y crear circuitos electrónicos, permitiendo automatizar dichos circuitos, así como generar simulaciones esquemáticas de todo tipo.

Entre las principales características de OrCAD están que permite fijar la temperatura y demás elementos ambientales que tendrá el circuito, para que, de esta manera, la simulación sea totalmente real. También se pueden crear toda clase de diseños: esquemáticos, simulación digital, analógica, híbrida entre digital y analógica, FPGA, CPLD, realizar síntesis de diseño, crear circuitos impresos, diseñar jerárquicamente, etcétera. Permite emplear componentes electrónicos variables, tratar individualmente cada parte del proyecto y optimizar ciertos diseños para reducir costes. Tiene, asimismo, capacidad para realizar análisis topológicos, escalar a cualquier tamaño, realizar anotaciones en el propio diseño, hacer capturas gráficas personalizadas de fragmentos del proyecto, etcétera.

El pack de programas con el que viene equipado OrCAD está integrado por el OrCad Capture y el OrCad Layout, entre muchos otros, que son los que utilizaremos en este proyecto.

Estas herramientas permiten al usuario simular el funcionamiento que tendría el producto sin necesidad de ser armado, abaratando la producción de hardware. En la siguiente figura se muestra el proceso de producción de hardware:

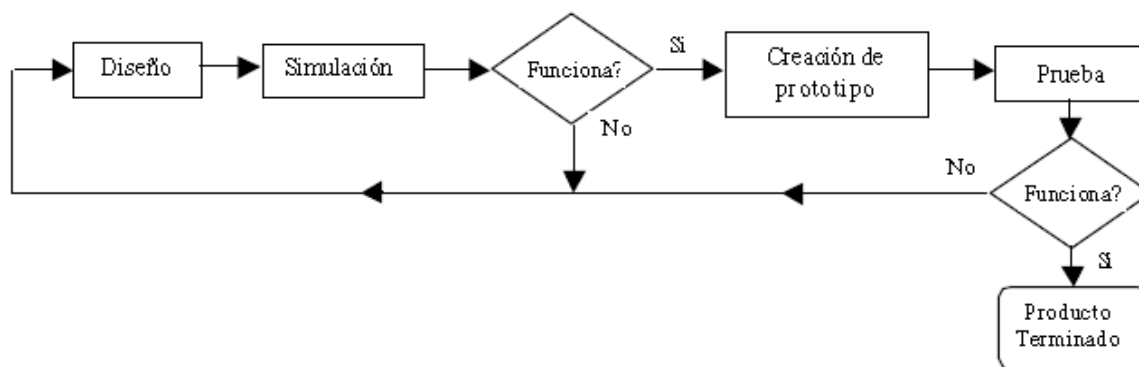


Figura 4.4: Proceso de producción de Hardware

En este ciclo de diseño de hardware, las herramientas CAD están presentes en todos los pasos: desde el primer paso donde se captura un esquema del circuito y se hace una simulación, hasta las herramientas que sirven para la realización de PCB's.

A continuación se muestra el flujo de trabajo correspondiente al diseño de una PCB utilizando OrCAD:

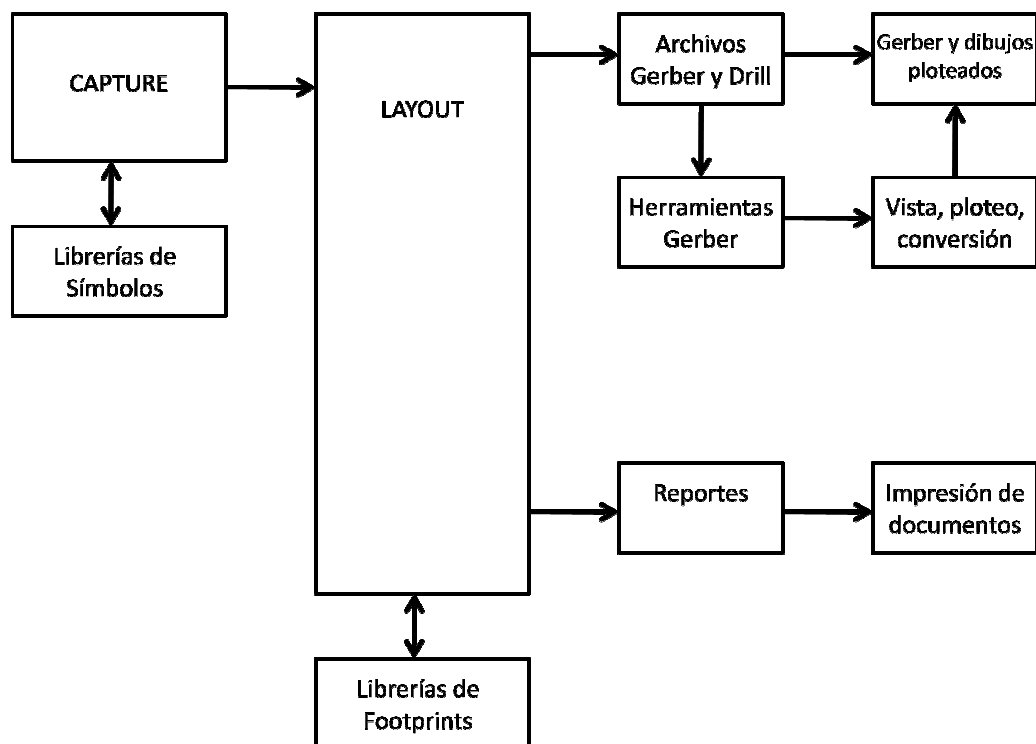


Figura 4.5: Flujo del diseño de una PCB

4.1.2.1 Captura del circuito.

Se utilizará el programa OrCAD Capture. Con captura de esquemas (capture) se entiende el proceso de descripción, mediante un dibujo de un circuito eléctrico. El dibujo del esquema puede incluir más de un simple diagrama de líneas, además puede incluir información sobre tiempos, cables, conectores, notas del usuario y muchas otras propiedades y valores necesarios por el resto de aplicaciones para la interpretación del mismo.

El flujo de trabajo para la captura del circuito sería el siguiente:

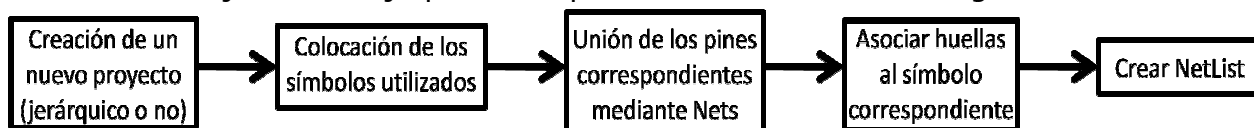


Figura 4.6: Flujo del diseño de una captura del circuito

- Creación de un nuevo proyecto: se debe elegir si la captura se hace en una sola hoja o, en caso de ser un circuito complejo, utilizando un

modelo jerárquico en el que cada parte del circuito estará en una hoja diferente. Para ello es importante la utilización de puertos.

Los puertos son conexiones al exterior de la hoja, y realizan la labor de interfase del circuito con el mundo exterior o con otra hoja. Los puertos pueden ser de entrada, de salida, o de entrada/salida, dependiendo de la dirección del flujo de la información.

- Colocación de los símbolos utilizados. Los símbolos son cajas que se interconectan unas con otras en la hoja de diseño y representan un componente determinado.
- Unión de los pines: el método clásico para la interconexión de los distintos símbolos de una hoja son las mallas o nets. Una malla en el esquema tiene una correspondiente inmediata con el circuito real, se trata de un cable físico que conecta un pin de un chip con un pin de otro, por ejemplo.

Actualmente, dada la gran complejidad de los diseños electrónicos, en las que hay muchas conexiones en una misma hoja, se hace necesario el uso de otras técnicas de interconexión de componentes. Una posibilidad que ofrecen la mayoría de herramientas CAD es la utilización de etiquetas. Es posible poner etiquetas a los pines o a los cables, de manera que dos pines o cables con la misma etiqueta o nombre están físicamente interconectados. Esto evita el tener que trazar múltiples conexiones entre componentes, evitando así una aglomeración de hilos que harían ilegible cualquier esquema.

- Asociar huellas al símbolo correspondiente: una huella es la forma que tiene un determinado componente a la hora de colocarlo en una PCB. Algunos de los símbolos utilizados en las librerías de OrCAD ya lo tienen asociado, sin embargo, otros no lo tienen y sería necesario su diseño.
- Crear NetList: este fichero tendrá toda la información necesaria sobre componentes y sus conexiones para hacer posible el diseño de la PCB.

4.1.2.2 Diseño de la PCB.

En electrónica, un circuito impreso o PCB (del inglés Printed Circuit Board), es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor, comúnmente baquelita o fibra de vidrio.

Pueden ser de varios tipos, según las capas utilizadas. En las placas que vamos a realizar, utilizaremos solo dos capas para las zonas rígidas (Top y Bottom) y sólo una para las zonas flexibles (Top).

A continuación, se muestra el flujo de trabajo para el OrCAD Layout:



Figura 4.7: Flujo del diseño de una PCB con OrCAD Layout

- Creación de la placa: como hemos visto anteriormente, el archivo .MAX se obtiene a partir del NetList generado en el OrCAD Capture.

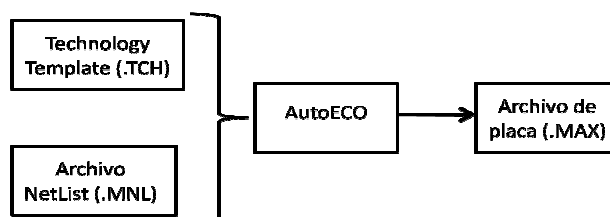


Figura 4.8: Diagrama del paso de captura a layout

- Especificación de los parámetros: se especifican la configuración global de la tarjeta, incluyendo unidades de medición, cuadrículado y espaciado. En suma, se puede crear el Board Outline (para especificar los límites de la placa) y definir las capas, los pads y las vías.

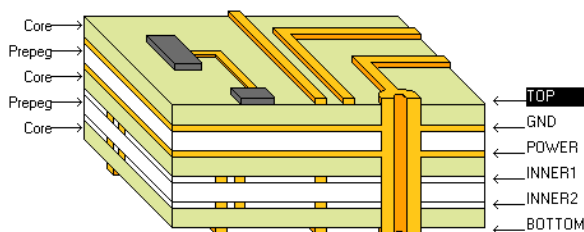


Figura 4.9: Localización de las capas de una PCB

- Colocación de los componentes: se utiliza la herramienta de componentes para colocar manualmente los componentes en la placa, de manera que se ahorre el mayor espacio posible y previendo como se hará el rutado para evitar cruce de pistas.
- Rutado de la placa: se puede trazar las pistas de la tarjeta de forma automática, aunque es recomendable hacerlo de forma manual, utilizando ángulos de 45° y evitando el cruce de pistas.
- Finalización de la placa: comprobación de posibles errores en cuanto a las reglas de diseño utilizando el DRC (Design Rule Check) y solución a los mismos.
- Documentos: creación de reportes y fotolitos.

4.2. Diseño mecánico.

En este apartado se pretende analizar más a fondo la estructura de los brazos del robot humanoide RH-2. Hay que tener en cuenta que para realizar un correcto diseño de la electrónica y de las placas de circuito impreso se ha de tener un conocimiento previo de la estructura mecánica del robot. Una vez realizado este análisis mecánico se tendrá conocimiento sobre: las medidas de las diferentes partes de los brazos, el posicionamiento de los motores, obstáculos que puedan dificultar el diseño, etc.

4.2.1. Análisis de la estructura de los brazos del RH-2

Como ya se ha mencionado anteriormente, cada brazo dispondrá de tres articulaciones (hombro, codo y muñeca), y para el control de los dispositivos electrónicos a utilizar es necesario un gran número de conectores, por lo que se ha optado por realizar una placa de circuito impreso por cada articulación, es decir, una en el hombro, una en el codo y otra en la muñeca. Sin embargo, debido al poco espacio libre en el brazo para colocar dichas placas, se ha decidido dividir cada una de ellas en 2 o más partes y unir las mediante circuitos flexibles (se verá con más detalle posteriormente).

En primer lugar se debe conocer el tamaño de cada una de las partes del brazo, para de ese modo poder dimensionar las placas de circuito impreso. Es conveniente que éstas tengan el mayor tamaño posible sin molestar en la estructura del robot. El tamaño será un factor crítico ya que se necesitarán colocar un gran número de conectores y componentes, además de tener que trazar todas las líneas eléctricas.

Desde el hombro se repartirán todas las líneas eléctricas, tanto de potencia como de señal, al resto del brazo (codo y muñeca).

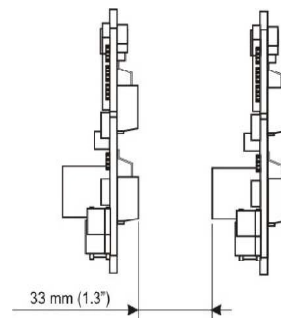
Existe una diferencia entre el espacio disponible en cada articulación. En el hombro, por ejemplo, tendremos una mayor cantidad de líneas eléctricas, pero el espacio también será mayor. Sin embargo, en el codo, habrá un número elevado de líneas y el espacio será muy pequeño, por lo que hemos tenido que aprovechar cada espacio disponible, por pequeño que fuera.

Cada brazo llevará instalados 6 motores, tres en el hombro, uno en el codo y dos en la muñeca. Para controlar los motores se llevarán las líneas de cada uno de ellos hasta el torso, donde se encontrarán sus drivers correspondientes, excepto para los motores alojados en el interior de los tubos, cuyos drivers se encontrarán en el interior del brazo (tubo largo).

A la hora de diseñar la placa del interior del brazo, hay que tener en cuenta una recomendación del fabricante, que se refiere a la separación mínima que ha de existir a la hora de montar los drivers. En el caso de un montaje con más de un driver, se recomienda una distancia de separación

de al menos 33 mm entre ellos. Los drivers fueron diseñados para ser enfriados por convección natural, gracias a esta separación mínima se asegura una libre circulación del aire entre los dispositivos.

Figura 4.10: Montaje Driver



Sin embargo, en la placa a diseñar el espacio va a ser muy reducido, y además no habrá una circulación libre del aire al estar encerrada. Para solucionarlo, se diseñará una placa que tenga un agujero entre los drivers, y además se incorporará un ventilador, para generar un flujo de aire que recorra la placa y con ello conseguir una buena refrigeración.

Para las demás placas, las únicas consideraciones a tener en cuenta en cuanto a la distribución de componentes es la de situar los conectores en los extremos de la placa de manera que estén lo más próximo posible a su dispositivo correspondiente para evitar cruces entre cables que pudieran ocasionar problemas en el futuro.

4.2.2. Distribución de las placas y los GDL's.

En cada GDL irá situado un motor, un encoder relativo y un encoder absoluto, y estarán situados en los siguientes puntos:

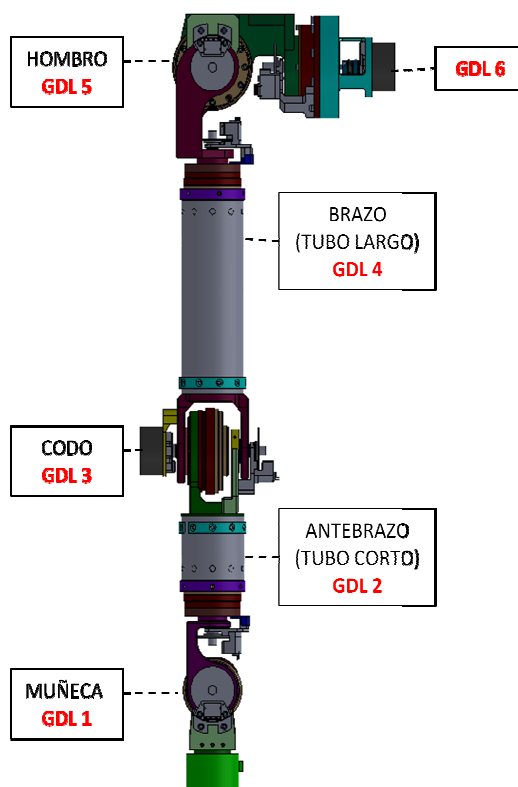


Figura 4.11: Localización de las partes del brazo y GDL's

Además, las medidas en el brazo son las siguientes:

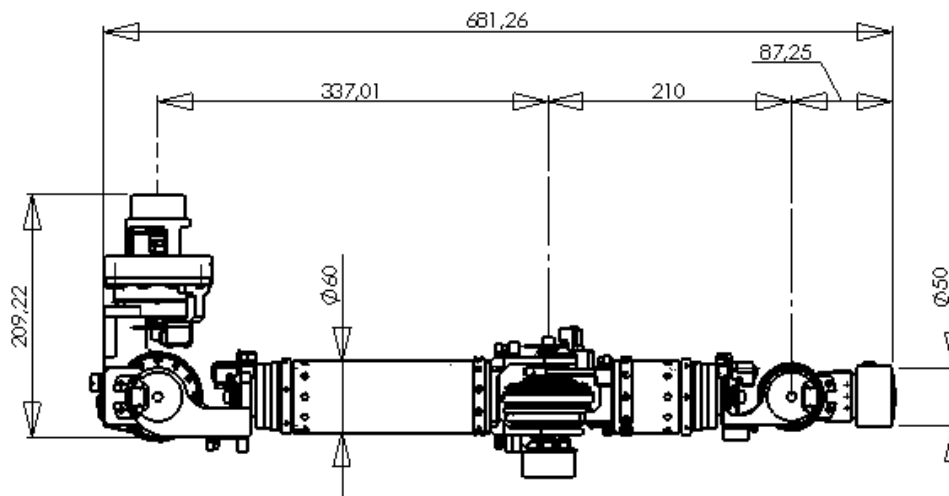


Figura 4.12: Medidas del brazo del RH-2

Una vez conocida la posición de cada GDL, y las distancias entre ellos, procedemos a explicar dónde y cómo se montarán los circuitos impresos en cada parte del circuito.

4.2.2.1. Montaje en el hombro.

Como ya se ha mencionado, dos de los motores a controlar estarán en el hombro. Como se puede comprobar en la *Figura 4.13*, el hombro se compondrá por dos placas de circuito impreso: en una de ellas tendremos todos los conectores para los motores y encoders, y en la otra, la comunicación hacia el codo y el torso, además de un reductor de tensión.

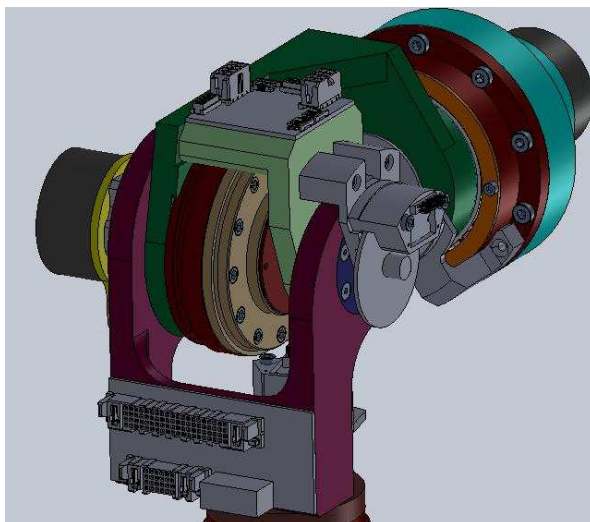


Figura 4.13: Distribución de las placas en el hombro

El hombro derecho será simétrico al izquierdo, por lo que tendremos una nueva distribución de algunos de los componentes. Más adelante, en el

ANEXO A.1, se mostrarán los circuitos impresos de ambos brazos, donde se podrá apreciar dicha distribución simétrica.

Las medidas en el hombro son las siguientes:

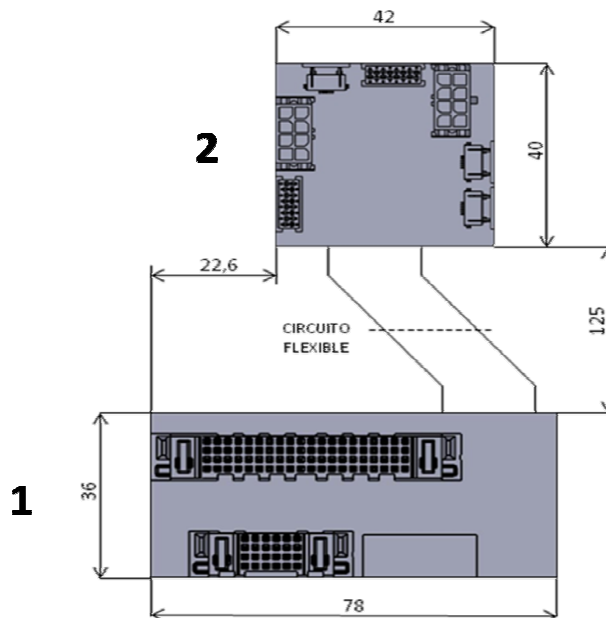


Figura 4.14: Medidas en las placas del hombro

Las conexiones que tendrán lugar en el hombro son:

	36 Vdc	5 Vdc	GND	Motor y encoders 1	Motor y encoders 3	Motor y encoders 5	Motor y encoders 6	Sensor	CAN
Cto. 1 a Codo	X		X	X	X			X	X
Cto. 1 a Cto. 2		X	X			X	X		X
Cto. 1 a Torso	X		X	X	X	X	X	X	X

Tabla 4.2: Listado de conexiones entre placas en el hombro

4.2.2.2. Montaje en el codo.

El espacio disponible en el codo es mucho menor que en el hombro, por lo que debemos aprovechar cualquier espacio posible. El resultado es que tendremos cuatro placas repartidas por el codo, todas ellas unidas entre sí.

En la parte frontal del codo, tendremos las placas que comunican con el hombro (en la parte superior) y con la muñeca (en la parte inferior). Además, en la placa superior, se pueden apreciar un reductor de tensión y un conector de alimentación para la placa que se encuentra en el interior del brazo, siendo las señales que envía +36Vdc, GND, CANH y CANL.

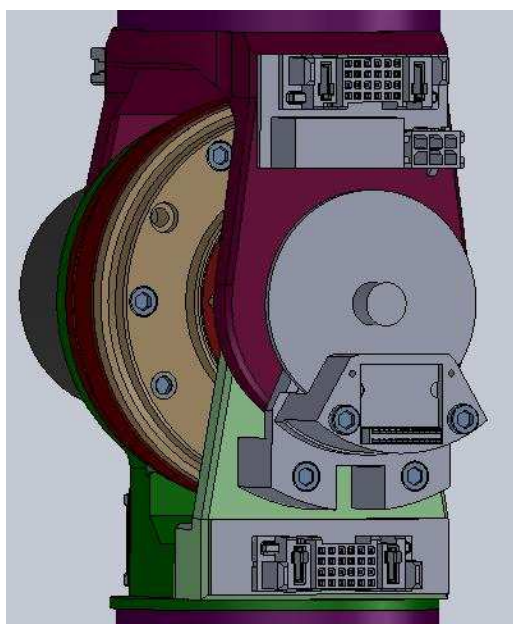


Figura 4.15: Distribución de las placas en el codo (frontal)

En la parte trasera del codo, tendremos otras dos placas, donde situaremos los conectores para motores y encoders. En la placa inferior, estos conectores serán los correspondientes al motor y al encoder situados en el interior del tubo del antebrazo, por lo que estas señales, junto con GND y 5Vdc, también son enviadas mediante un conector de comunicación a la placa que se encuentra en el interior del brazo.

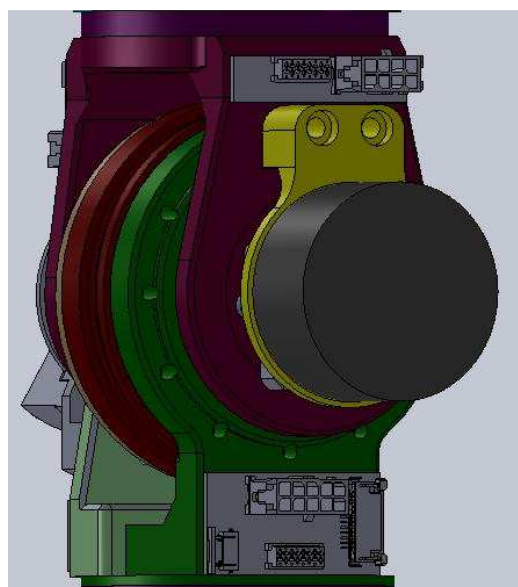


Figura 4.16: Distribución de las placas en el codo (trasera)

Las medidas en el codo son las siguientes:

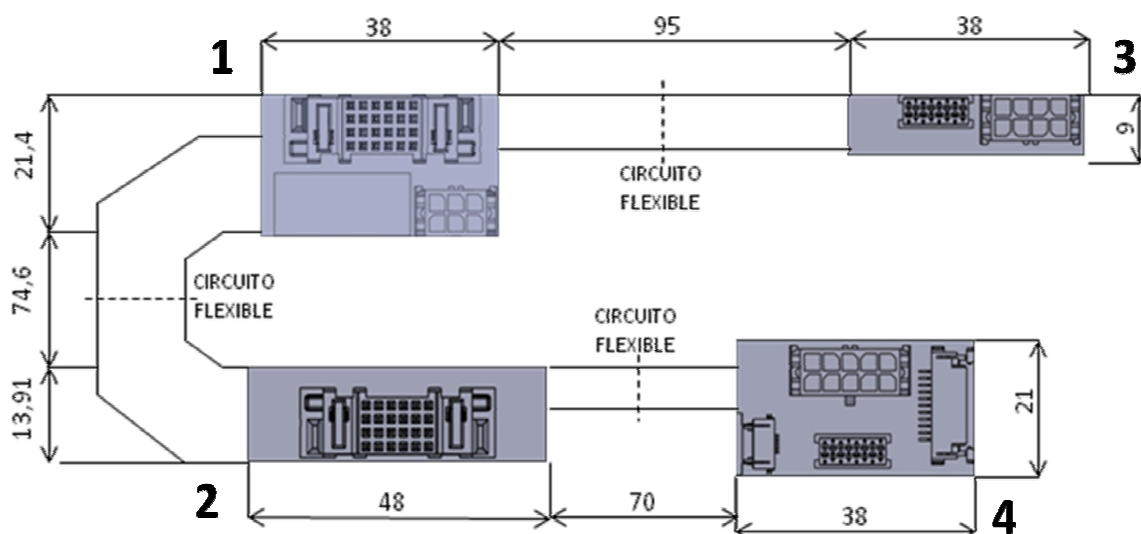


Figura 4.17: Medidas en las placas del codo

Las conexiones que tendrán lugar en el codo son:

	36 Vdc	5 Vdc	GND	Motor y encoders 1	Motor y encoders 2	Motor y encoders 3	Sensor	CAN
Cto. 1 a Hombro	X		X	X		X	X	X
Cto. 1 a Cto. 3		X	X			X		
Cto. 1 a Interior Brazo	X		X					X
Cto. 1 a Cto. 2	X	X	X	X			X	X
Cto. 2 a Cto. 4		X	X					X
Cto. 4 a Interior Brazo		X	X		X			
Cto. 2 a Muñeca	X		X	X			X	X

Tabla 4.3: Listado de conexiones entre placas en el codo

4.2.2.3. Montaje en el interior del brazo:

Como ya se ha mencionado antes, tendremos una placa circular, que se ajustará al diámetro interior del tubo largo del brazo.

En la capa interna de la placa, tendremos el conector del motor y el del encoder relativo del interior de dicho tubo, además de los drivers encargados de controlar este motor y el situado en el interior del antebrazo. También está situado el conector para posicionar el ventilador que se encargará de refrigerar el interior del tubo, debido al calor desprendido por los drivers.

En la capa externa de la placa, tendremos los conectores encargados de recibir del exterior la alimentación y las líneas de señal del motor y el encoder del antebrazo, así como las del CANbus.

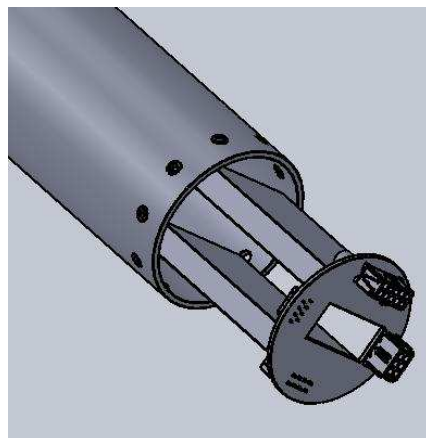


Figura 4.18: Montaje en el interior del brazo

Las medidas en el interior del brazo son las siguientes:

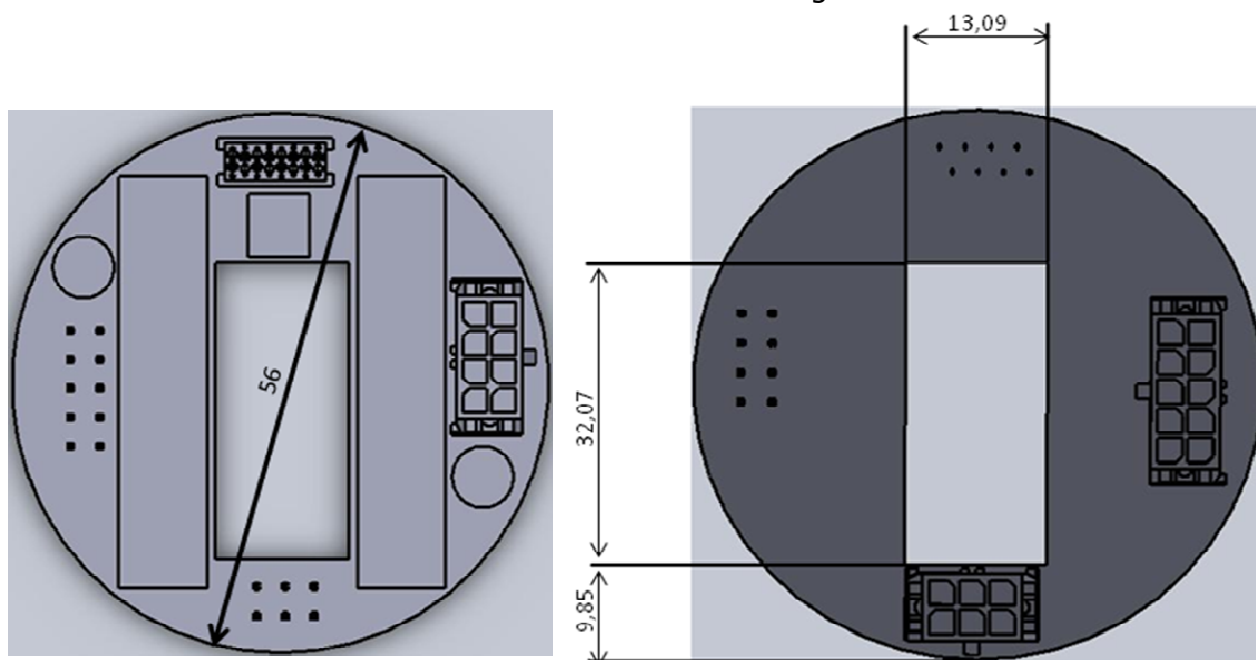


Figura 4.19: Medidas en el interior del brazo

Tanto el codo como la placa del interior del brazo serán iguales para ambos brazos.

4.2.2.4. Montaje en la muñeca:

La muñeca estará dividida en dos placas: una de ellas será la que sirva de comunicación con el codo, y además tendrá los conectores de motores y encoders necesarios, así como el reductor de tensión. La otra placa dispondrá del conector del sensor Fuerza-Par, que necesita ser alimentado por una tensión diferente, por lo que también habrá un reductor de tensión variable. Además, para futuras mejoras e incorporaciones en la mano del RH-2, se ha puesto un conector de comunicación con la misma.

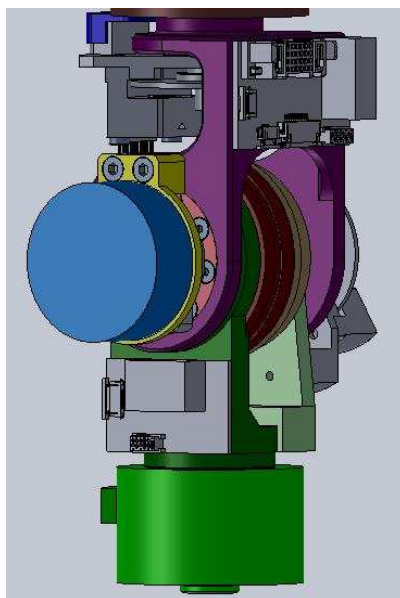


Figura 4.20: Distribución de las placas en la muñeca

Las medidas en la muñeca son las siguientes:

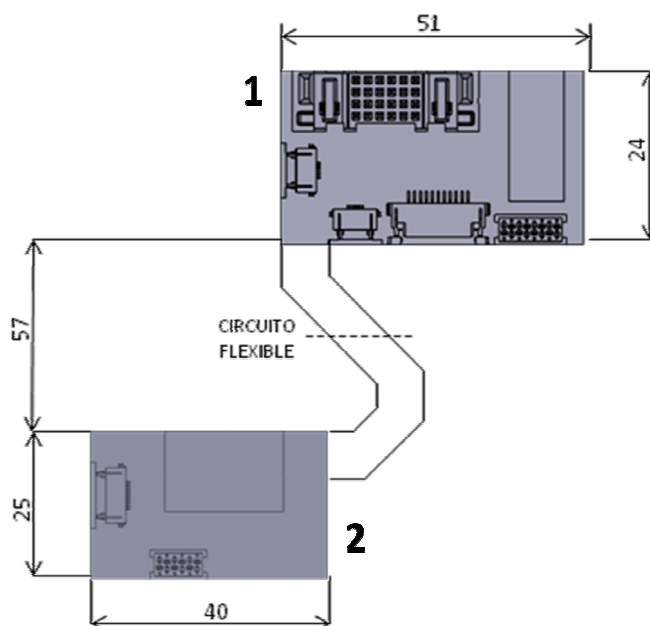


Figura 4.21: Medidas en las placas de la muñeca

Las conexiones que tendrán lugar en la muñeca son:

	36 Vdc	8 Vdc	GND	Motor y encoders 1	Sensor	CAN
Cto. 1 a Muñeca	X		X	X	X	X
Cto. 1 a Cto. 2	X		X		X	X
Cto. 2 a Mano		X	X			X

Tabla 4.4: Listado de conexiones entre placas en la muñeca

4.2.2.5. Conexión entre el hombro y el codo.

Para la conexión entre placas de distintas articulaciones, se ha optado por hacerlas también mediante circuitos flexibles. Estos circuitos deberán tener la forma y el tamaño adecuados para que se puedan ejecutar movimientos en el brazo sin que haya riesgo de rotura.

Las medidas en esta conexión son las siguientes:

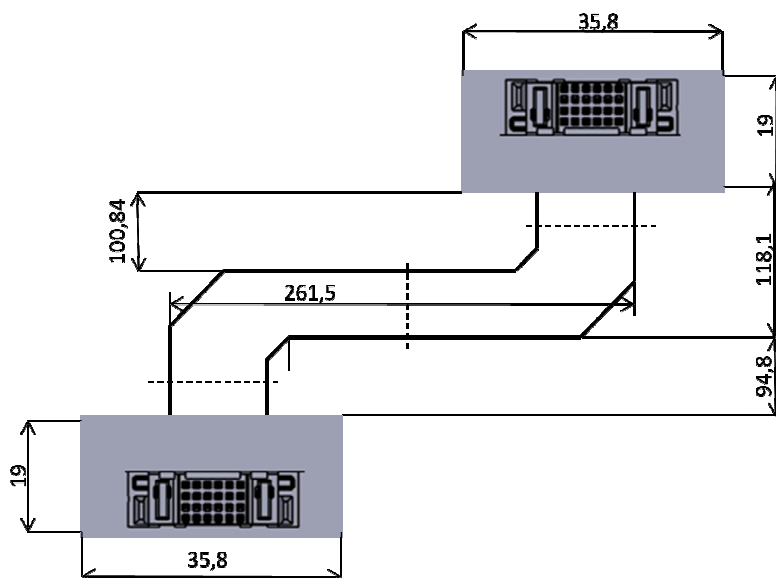


Figura 4.22: Medidas en la conexión hombro-codo

4.2.2.6. Conexión entre el hombro y el codo.

Las medidas en esta conexión son las siguientes:

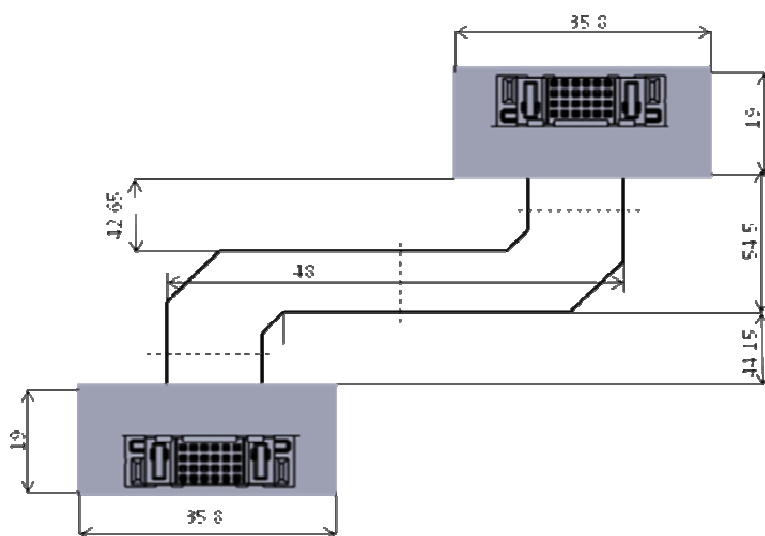


Figura 4.23: Medidas en la conexión codo-muñeca

4.3. Diseño electrónico.

Una vez conocida la posición de cada uno de los componentes y las conexiones necesarias entre ellos, el patillaje de cada dispositivo, etc, se procede al diseño de la captura y del layout de cada una de las partes del brazo.

El brazo se divide en cuatro grandes bloques, correspondientes a cada una de las articulaciones más el contenido en el interior del brazo, y se harán dos placas adicionales que serán la interconexión entre el hombro y el codo, y el codo y la muñeca.

De esta manera, el hombro y la muñeca, así como las de interconexión, estarán compuestos por dos placas rígidas de circuito impreso y una zona flexible, mientras que en el codo habrá cuatro placas rígidas y tres zonas flexibles, y en el interior del brazo será una sola placa rígida.

La utilización de circuitos flexibles nos permitirá reducir espacio al no tener que utilizar más conectores entre placas, de la misma manera que se evitarán cruces de cables indeseados.

A continuación, se pasa a explicar los pasos más importantes realizados en cada placa, diferenciando entre la del interior del brazo y otra de las demás (que serán las que tengan circuitos flexibles), por ejemplo la muñeca:

4.3.1. Captura del circuito.

4.3.1.1. Placa del interior del brazo.

Será el diseño más sencillo, puesto que, al ser una sola PCB, se puede hacer la captura de diseño en una sola hoja.

Dentro del área de trabajo, colocaríamos los componentes necesarios y se realizan las conexiones entre ellos.

Antes de finalizar el esquemático, hay que asociar a cada componente una huella (footprint). Algunos de los componentes utilizados, como resistencias y condensadores, ya lo tienen asociado. Sin embargo, otros componentes no. Al crearlos, hay que tener una serie de consideraciones:

- a) Para crear un nuevo encapsulado es necesario conocer su forma física, anchura, largo, distancia entre pines, etc.
- b) Poner especial atención en darle a los pines el mismo número que tienen en el esquemático.

Para crear las huellas, utilizamos el programa *ORCAD Layout*. Hay que hacerlo de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante del

componente, teniendo en cuenta la forma, el tamaño y las distancias tanto del encapsulado como de los taladros.

Cuando ya estén todos los componentes asociados a sus huellas determinadas, se procederá al diseño del circuito impreso. Para ello, antes hay que convertir el formato de la captura (NetList) al del Layout.

4.3.1.2. Resto de placas.

Para realizar el esquemático de estas placas se ha optado por hacer un diseño jerárquico o por niveles, en la que se plantea una estructura de bloques en los que cada uno tiene una parte diferente del diseño.

Para realizar un diseño siguiendo esta metodología, se debe partir de un diseño arquitectural en el que se definen los bloques funcionales y sus interconexiones. Es decir, debemos tener clara la estructura del diseño.

En nuestro caso, en el nivel de jerarquía superior se muestran los bloques principales (un bloque por cada subcircuito) y las líneas (de potencia o de señal) que se comunican entre ellos. Para poder realizar esta comunicación hay que poner pines en cada bloque, indicando si son de entrada, de salida, bidireccionales o de potencia.

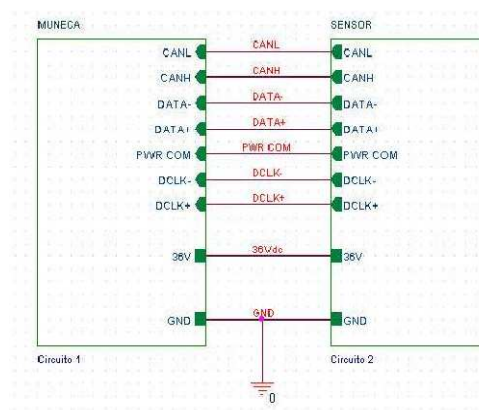


Figura 4.24: Bloques de nivel superior

Dentro de cada uno de los bloques, están las capturas de segundo nivel, que contienen los componentes y las conexiones del subcircuito correspondiente. Cada uno de estos subcircuitos se realizará de la forma indicada en el apartado anterior.

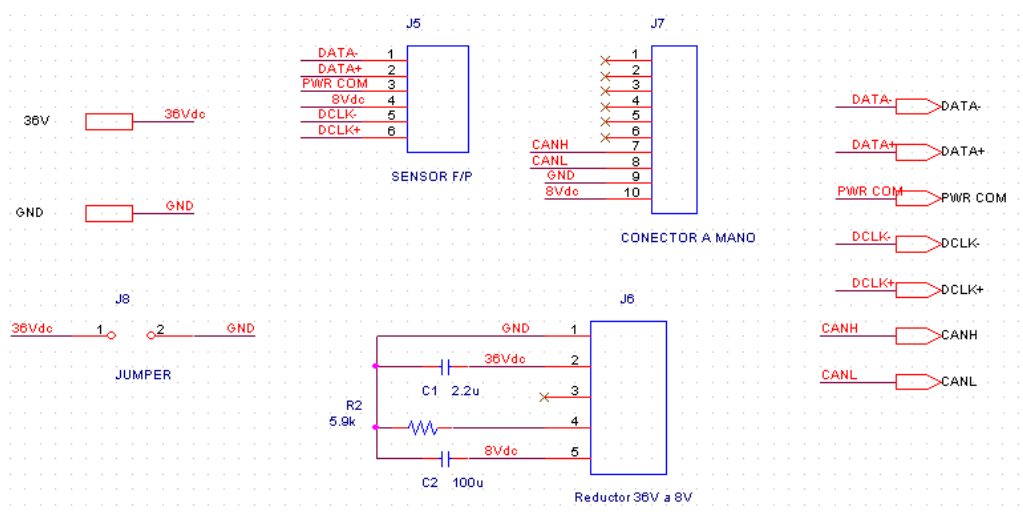


Figura 4.25: Captura del subcircuito de uno de los bloques de nivel superior

4.3.2. Condiciones de diseño de la PCB

Antes de comenzar a hacer el diseño de la PCB, hay que decir cuáles van a ser las condiciones del diseño, y dependiendo de estas, obtendremos un circuito más o menos complicado. Para clasificar esta dificultad (y por tanto, el precio del circuito impreso), se utiliza el parámetro denominado "CLASE", que es el conjunto de características dimensionales de los diferentes elementos que forman la imagen del circuito impreso [8].

Las placas a fabricar serán de clase 6. Las consideraciones a tener en cuenta son:

- Para las zonas rígidas, que van a ser bicapas:


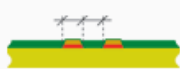



		CLASE 6			CLASE 6
Diámetro mínimo taladro metalizado		0,20 mm	Ancho/espacio mínimo conductor (grosor cobre base)		0,125 mm (17 μ) 0,150 mm (35 μ) 0,175 mm (70 μ)
Diámetro mínimo taladro NO metalizado		0,30 mm	Corona mínima		0,10mm
Aspect/Ratio (grosor circuito/taladro mínimo)		8			

Tabla 4.5: Consideraciones de diseño en las zonas rígidas

- Para las zonas flexibles, que van a ser de una capa:

Descripción		Uso A Estático	Uso B Dinámico
Diámetro mínimo taladro metalizado B		0,15 mm	0,15 mm
Diámetro mínimo del pad A		diámetro mínimo B + 150 μ m	diámetro mínimo B + 260 μ m
Distancia de cobre (externas) a la intersección Rigidflex		$\geq 350 \mu\text{m}$	$\geq 400 \mu\text{m}$
Distancia de Cobre (internas) a la intersección Rigidflex		$\geq 200 \mu\text{m}$	$\geq 250 \mu\text{m}$
Distancia mínima de la parte flexible		$\geq 2,0 \text{ mm}$	
Distancia pista-contorno de la parte flexible		$\geq 350 \mu\text{m}$	

Tabla 4.6: Consideraciones de diseño en las zonas flexibles

4.3.3. Diseño de la PCB.

4.3.3.1. Placa del interior del brazo.

Al hacer la colocación de componentes, hay que tener en cuenta que en el centro hay que dejar un hueco lo más grande posible, que será por donde pase el aire necesario para la refrigeración de los drivers. En la cara TOP situaremos los componentes que se van a comunicar con el exterior, y en la capa BOTTOM, con los que están dentro del brazo. Además, hay que tener en cuenta que cuando coloquemos componentes en la capa BOTTOM hay que ponerlos "reflejados" (opposite).

Una vez llegados a este punto, hay que trazar las pistas en la capa TOP o BOTTOM, según nos convenga. En caso de que al trazarla no se puedan evitar estos cruces de pistas, se pueden utilizar Vías, para comunicar ambas capas y poder ir alternando el rutado en las mismas.

Para simplificar el número de conexiones, utilizaremos planos de masa (cara Bottom) y de 36 Vdc (cara Top), con lo que no será necesario el trazado de estas líneas. Además, ajustaremos la anchura de las diferentes líneas, siendo las más gruesas las de potencia, y las más delgadas las de señal, como se muestra en la *Tabla 4.6*:

Net Name	Color	Width Min Con Max	Routing Enabled	Share	Weight	Reconn Rule
0		0.30, 0.51, 0.61	No	Yes	50	Std
5VDC		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
36VDC		0.30, 0.51, 0.61	No	Yes	50	Std
CANH		0.20	Yes	Yes	50	Std
CANL		0.20	Yes	Yes	50	Std
ENCA 2		0.20	Yes	Yes	50	Std
ENCA 4		0.20	Yes	Yes	50	Std
ENCB 2		0.20	Yes	Yes	50	Std
ENCB 4		0.20	Yes	Yes	50	Std
H1 2		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
H1 4		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
H2 2		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
H2 4		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
H3 2		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
H3 4		0.25, 0.30, 0.30	Yes	Yes	50	Std
M1 2		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
M1 4		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
M2 2		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
M2 4		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
M3 2		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
M3 4		0.30, 0.51, 0.61	Yes	Yes	50	Std
N408140		0.20	Yes	Yes	50	Std
N408590		0.20	Yes	Yes	50	Std

Tabla 4.6: Lista de líneas a trazar

Una vez colocados los componentes y trazadas todas las pistas, hay que hacer el agujero en el centro. Debemos hacer dos nuevos obstáculos:

uno para indicar dónde está el agujero, de tipo Board Outline, y otro para eliminar los planos de masa y 36Vdc, de tipo Anti-Copper.

Por último, con la herramienta Text Tool, pondremos texto en la capa SSTOP o SSBOTTOM para dar la máxima información posible de los componentes, indicando también dónde está el pin 1 o en caso de diodos y condensadores, la polaridad. El texto en la capa SSBOTTOM estará también "reflejado" (Mirrored).

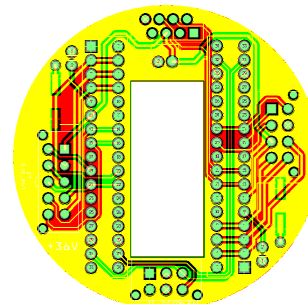


Figura 4.26: Resultado final de la placa

4.3.3.2. Resto de placas.

Las demás placas se realizarán siguiendo las instrucciones indicadas anteriormente, aplicando a cada una de ellas sus medidas y características determinadas. La diferencia es que estas placas serán "híbridas", es decir, tendrán zonas rígidas y zonas flexibles.

Para hacer las zonas flexibles, simplemente se unen las líneas entre las placas rígidas con la forma deseada, utilizando solo la capa TOP y con una separación entre pistas de 0'125 mm, siendo de esta manera su fabricación más barata.

Para las líneas de potencia, se utilizarán, como hemos visto anteriormente, planos de masa y de 36Vdc o 5Vdc. Se realizarán de la misma manera, pero en lugar de tener un patrón sólido, que es lo que viene por defecto, lo haremos en forma de malla, con ángulos de 45° y un grosor de 0'2 mm. Esto lo podemos modificar en el menú del obstáculo, seleccionando Hatch Pattern, como se muestra en la Figura 4.27:

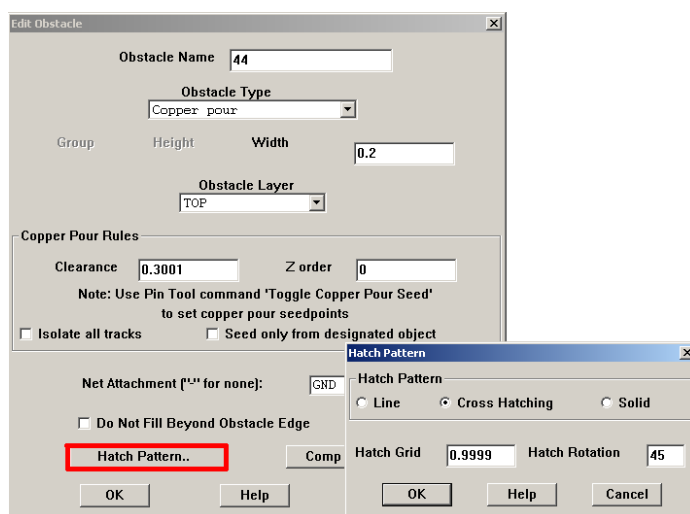


Figura 4.27: Propiedades del obstáculo

Por tanto, el rutado de pistas de la zona flexible será parecido al de la *Figura 4.28*:

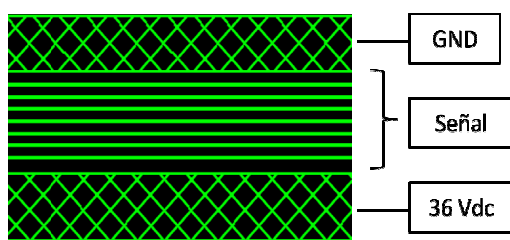


Figura 4.28: Detalle del rutado de la zona flexible

Por último, quedaría añadir el obstáculo de tipo Board Outline en el contorno de la zona flexible, y para comprobar y corregir los errores (si los hubiera), utilizar la herramienta DRC.

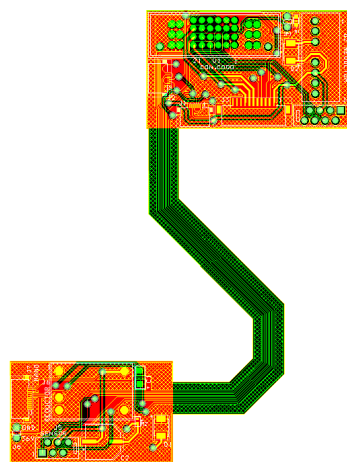


Figura 4.29: Resultado final de la placa



Capítulo 5

Presupuesto

En este apartado se va a hacer una estimación del coste que supondría fabricar las PCB's correspondientes con este proyecto. Los costes se van a dividir en dos partes fundamentalmente:

5.1. Coste de material por unidad.

En la *Tabla 5.1*, se muestran los precios de cada uno de los componentes, especificando el número de componentes utilizados, el precio de cada uno de ellos (o del lote, en caso de que no se pueda adquirir unitariamente) y el precio total. Hay que destacar que son precios de compra de pocas unidades, por lo que el precio es sensiblemente mayor que si se hubieran comprado a gran escala. Esta información ha sido obtenida de Amidata y Samtec [7].

COMPONENTES	COSTE UNITARIO (x NUMERO MINIMO DE UNIDADES A COMPRAR)	NUMERO DE UNIDADES NECESARIAS	COSTE TOTAL
CONECTORES			
MiCRO-fit 6 pines	2,166 € (x5)	4	10,830 €
MiCRO-fit 8 pines	2,536 € (x5)	8	25,360 €
MiCRO-fit 10 pines	3,19 € (x5)	4	15,950 €
FFC 6 pines	0,356 € (x10)	12	7,120 €
FFC 10 pines	0,369 € (x10)	2	3,690 €
FFC 11 pines	0,596 € (x10)	4	5,960 €
Micro match 6 pines	0,424 € (x5)	2	2,120 €
Micro match 8 pines	0,5 € (x5)	12	7,500 €
Jumper	0,37 € (x10)	12	7,400 €
Conector Driver	4,5 €	4	18,000 €
Conector del ventilador	0,236 € (x10)	2	2,360 €
SAMTEC (2P - 24S) HEMBRA	2,928 €	8	23,424 €
SAMTEC (2P - 80S) HEMBRA	5,430 €	2	10,860 €
SAMTEC (2P - 24S) MACHO	2,243 €	8	17,994 €
COMPONENTES			
Diodo TVS 5V	0,344 € (x5)	6	3,440 €
Diodo TVS 36V	0,188 € (x20)	6	3,760 €
Reductor 36V-5V	17,22 €	6	103,320 €
Reductor 36V-8V	19,81 €	2	39,620 €
RESISTENCIAS			
120	0,018 € (x50)	6	0,900 €
5K9	0,025 € (x50)	2	1,250 €

CONDENSADORES			
100uF	0,686 € (x5)	6	6,860 €
2,2uF	0,38 € (x10)	2	3,800 €
		TOTAL	321,518 €

Tabla 5.1: Costes de material por unidad.

5.2. Coste de desarrollo.

Este coste se debe a la mano de obra que ha llevado este proyecto, incluyendo el precio de fabricación de cada PCB y el montaje de los componentes. La fuente de esta información ha sido Lab-Circuits [8].

CONCEPTO	COSTE UNITARIO	CANTIDAD	COSTE TOTAL
PCB'S DE DISEÑO NUEVO	1.300 €	8	10.400 €
PCB'S DE DISEÑO USADO	400 €	4	1.600 €
		TOTAL	12.000 €

Tabla 5.2: Costes de desarrollo.

5.3. Costes totales.

En este apartado se va a calcular el precio final que supondría la realización de este proyecto.

CONCEPTO	IMPORTE
COSTE DE MATERIAL POR UNIDAD	321,518 €
COSTE DE DESARROLLO	12.000 €
TOTAL COSTE MATERIAL Y DESARROLLO	12.321,518 €
IVA (18%)	2.214,633 €
TOTAL	14.539,391 €

Tabla 5.3: Costes totales.



Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

Como conclusión a todo lo expuesto en esta memoria, se presenta este capítulo, junto con una breve exposición de los trabajos futuros que podrían ser abiertos a partir de este proyecto.

6.1. Conclusiones

Este proyecto surge con la idea de mejorar el sistema manipulador de los anteriores modelos de robot humanoide diseñados por la Universidad Carlos III de Madrid.

Se pretendía conseguir un brazo que se asemejara lo máximo posible al de un ser humano, por lo que se diseñó un brazo de 6 grados de libertad y su tamaño se adecuó.

El objetivo del proyecto que nos ha ocupado era la elección de los sistemas electrónicos de los brazos del robot humanoide RH-2 y en base a ello, la realización del conexionado electrónico de los mismos.

El proyecto se dividió en dos partes:

- La primera parte del proyecto consistió en el análisis de la estructura mecánica del brazo, donde se decidió qué espacios podían ser utilizables y las distancias entre ellos, cómo se iban a conectar entre sí las placas, el tipo de componentes y conectores que se iban a utilizar dependiendo de la articulación o grado de libertad que se estuviera analizando y el número de ellos, teniendo en cuenta las características necesarias de diseño y una limitación en el espacio.

En esta fase se tuvieron que tomar decisiones importantes como la utilización de circuitos flexibles para unir PCB's entre sí, o la inclusión de los motores, encoders y drivers de dos de los seis grados de libertad en el interior del tubo del brazo.

- La segunda parte del proyecto consistió en diseñar las placas de circuito impreso a partir de los datos obtenidos en el apartado anterior. Como resultado, se obtuvo un conjunto de placas en cada articulación unidas entre sí mediante circuitos flexibles, para evitar problemas con el cableado. La fabricación de este tipo de circuitos es bastante más cara que los circuitos impresos convencionales, por lo que se intentó reducir costes lo máximo posible, utilizando, por ejemplo, una sola capa para trazar las pistas, o aumentando la distancia mínima entre pistas.

6.2. Trabajos futuros

El diseño de un prototipo es un proceso iterativo que busca el mejoramiento del mismo. Debido a esto es importante resaltar que los resultados obtenidos en esta versión del brazo robótico son susceptibles a mejoras. No obstante, el conocimiento que se ha generado ha sido muy importante, y servirá para futuras versiones del brazo robótico.

Para este proyecto se podrían realizar distintos trabajos futuros, entre ellos:

- Montaje de las distintas PCB's. Debido a que los plazos de entrega de las placas por el fabricante son muy largos, este proyecto se ha realizado antes de poder montar las placas en el brazo. Además, habrá que estudiar las distintas posibilidades de sujeción de estas placas con la estructura mecánica y elegir la más conveniente.
- Búsqueda y optimización de algunos de los componentes, que puedan ofrecer mejores prestaciones y se adapten a nuestra necesidad real. Por ejemplo, la conexión entre el hombro y el torso se realiza con un conector que dispone de 80 líneas de señal, cuando solo son necesarias 41.
- Incorporar circuitos flexibles en las conexiones entre el codo y el interior del brazo.
- Incorporar un sensor de temperatura que indique si los drivers en el interior del brazo se están sobrecalentando.



Capítulo 7

Bibliografía

LIBROS Y TUTORIALES:

- [1] "Fundamentos de robótica". Barrientos, Peñín, Balaguer, Aracil. McGraw-Hill.
- [2] "Robot Evolution – The development of Anthrobotics". Mark Rosheim. Wiley-InterScience.
- [3] Tutorial de SolidWorks incluido en el programa y en la siguiente pagina web:

www.solidworkstutorials.com

PROYECTOS DE FIN DE CARRERA:

- [4] "Sensorización de las articulaciones del robot humanoide RH-2". Ismael Holguera Lucas (Director: Carlos Pérez Martínez). Universidad Carlos III de Madrid.
- [5] "Diseño en SolidWorks del brazo robótico MATS". Alberto González Robledo (Director: Antonio Jiménez Fernández). Universidad Carlos III de Madrid.
- [6] "Diseño e implementación de los sistemas electrónicos del tren inferior del robot humanoide RH-2". Gonzalo Funes Romero (Director: Santiago Martínez de la Casa Díaz). Universidad Carlos III de Madrid.

DIRECCIONES WEB UTILIZADAS:

- [7] Páginas web con información sobre componentes (y fecha de su última visita):
 - Farnell: www.farnell.com (Mayo de 2011)
 - Amidata: es.rs-online.com (Mayo de 2011)
 - Samtec: www.samtec.com (Mayo de 2011)
 - Molex: www.molex.com (Enero de 2011)
 - JR3: www.jr3.com (Noviembre de 2010)

[8] Páginas web con información sobre circuitos rígidos y flexibles:

- Lab-Circuits: www.lab-circuits.com (Mayo de 2011)
- Fabricación de circuitos rígidos multicapa:
<http://www.lab-circuits.com/es/fabricacio.php> (Mayo de 2011)
- <http://www.gspkcircuits.es/flexibles.htm> (Mayo de 2011)

[9] Páginas web con información sobre la historia de la robótica y los manipuladores:

- <http://html.rincondelvago.com/historia-de-la-evolucion-de-los-robots.html> (Abril de 2011)
- <http://www.mitecnologico.com/iem/Main/IntroduccionALosManipuladoresRoboticos> (Abril de 2011)
- <http://robotik-jjlg.blogspot.com/2009/06/robots-humanoides.html> (Abril de 2011)



ANEXOS

A.1 Esquemáticos y circuitos impresos.

A.1.1 Muñeca.

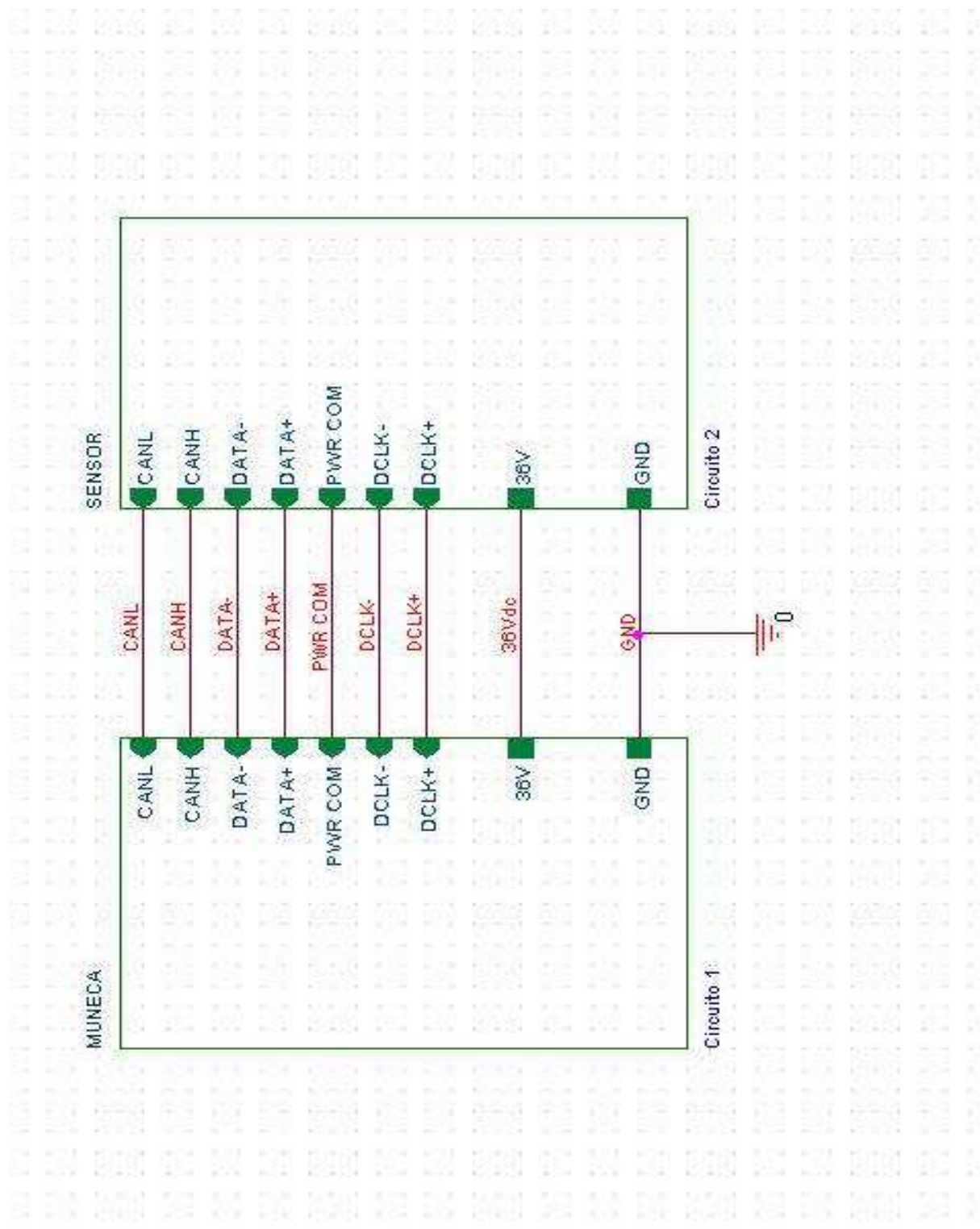


Figura A.1: Esquemático de la muñeca

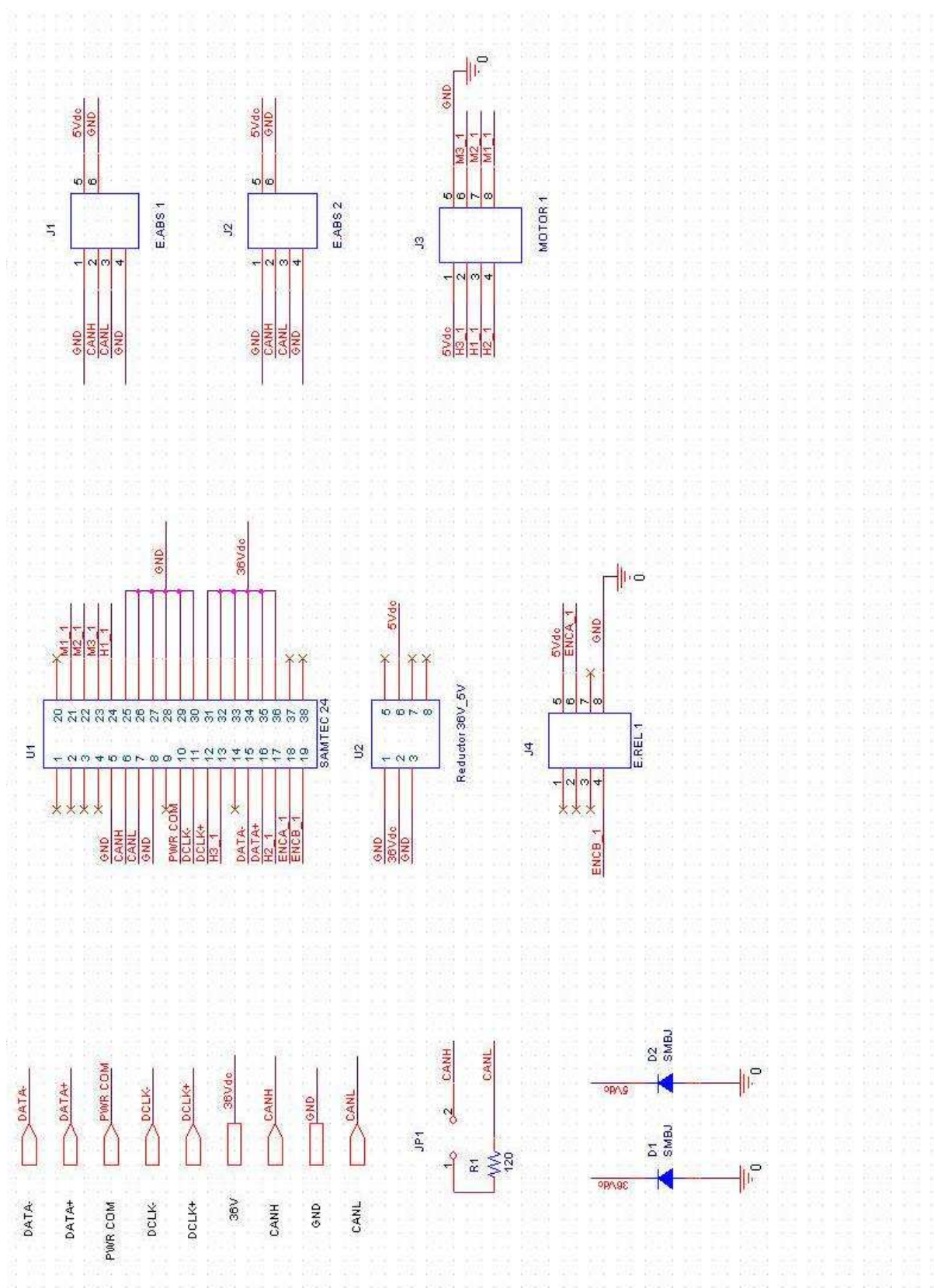


Figura A.2: Esquemático del circuito 1 de la muñeca

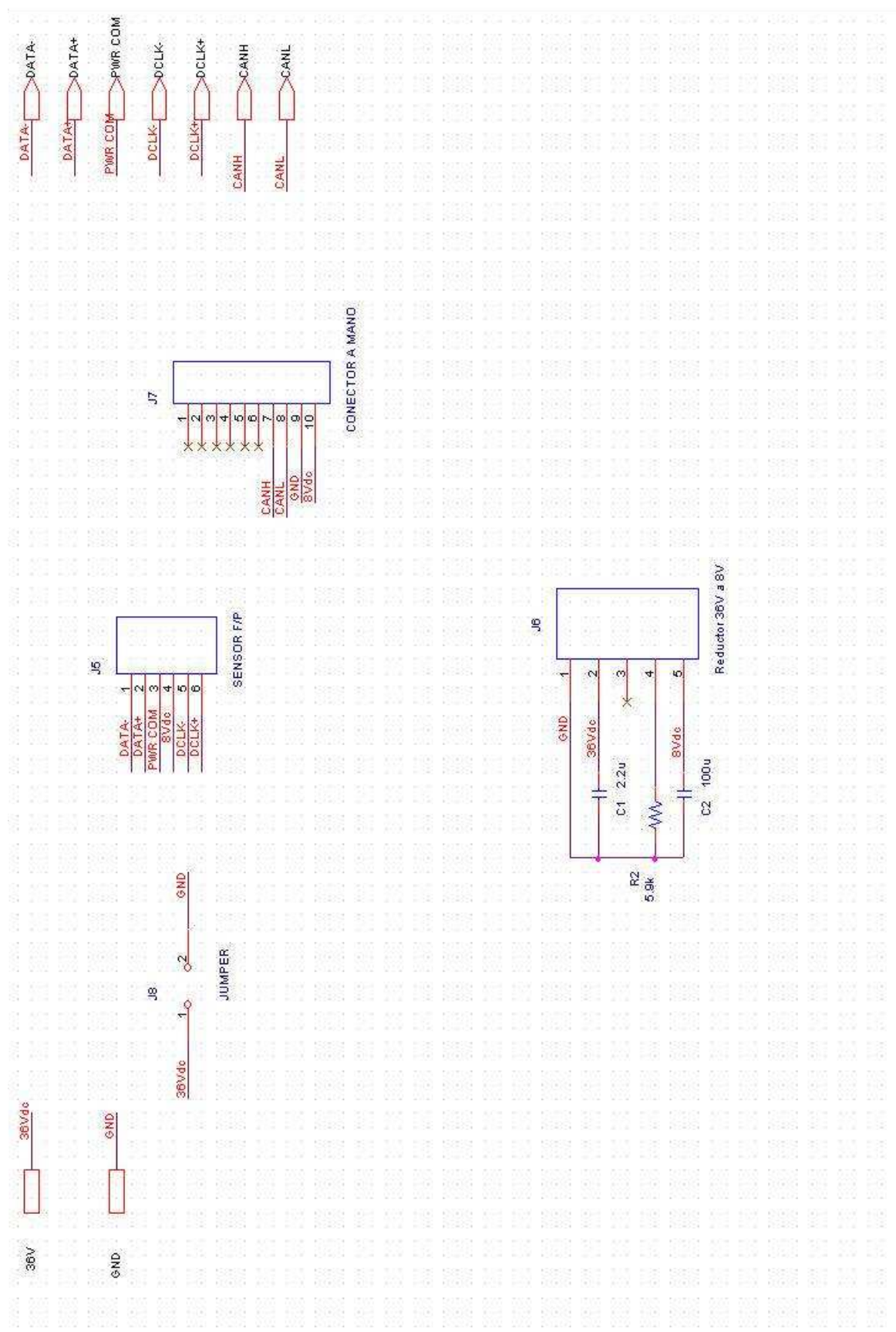


Figura A.3: Esquemático del circuito 2 de la muñeca

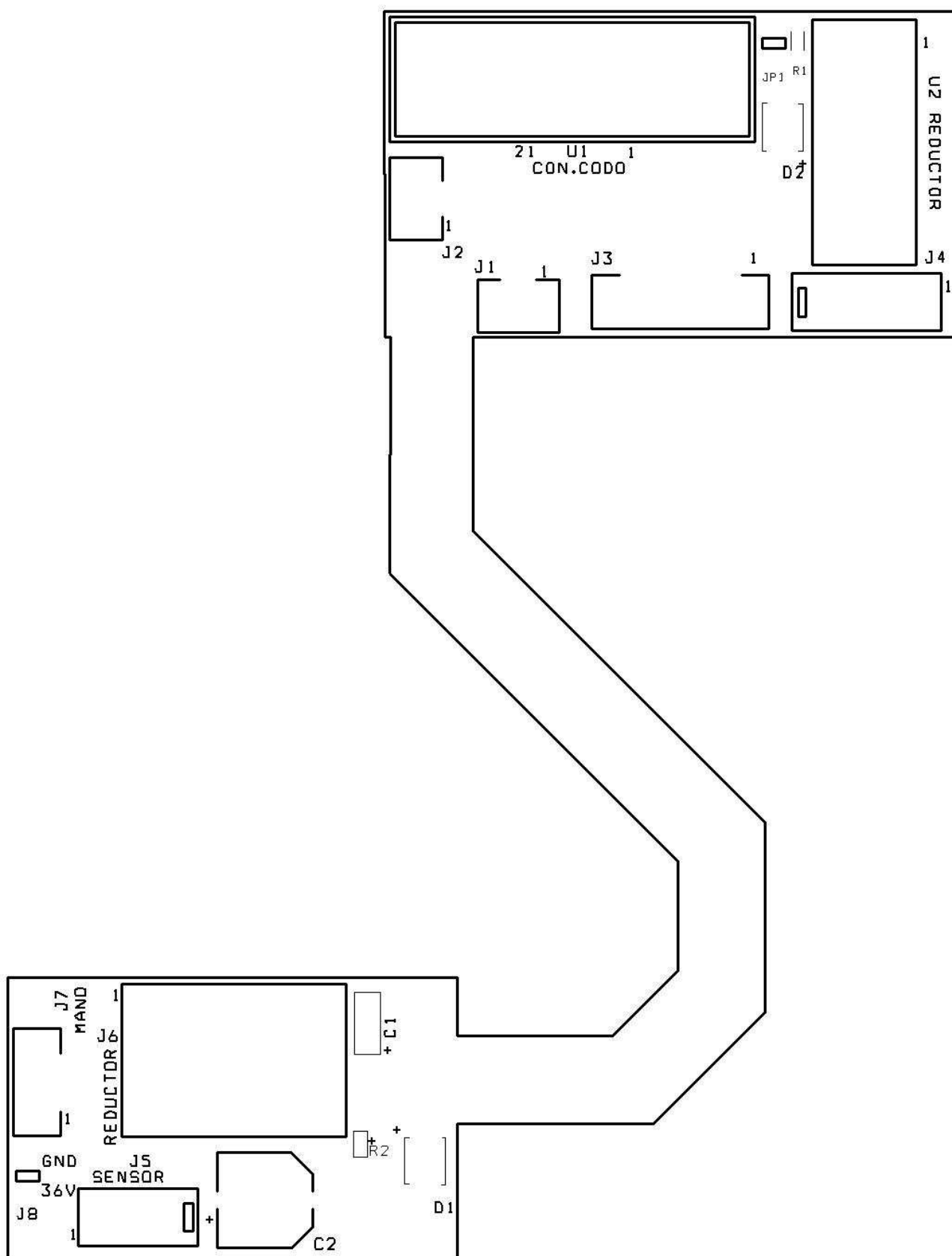


Figura A.4: Serigrafía SSTOP de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2

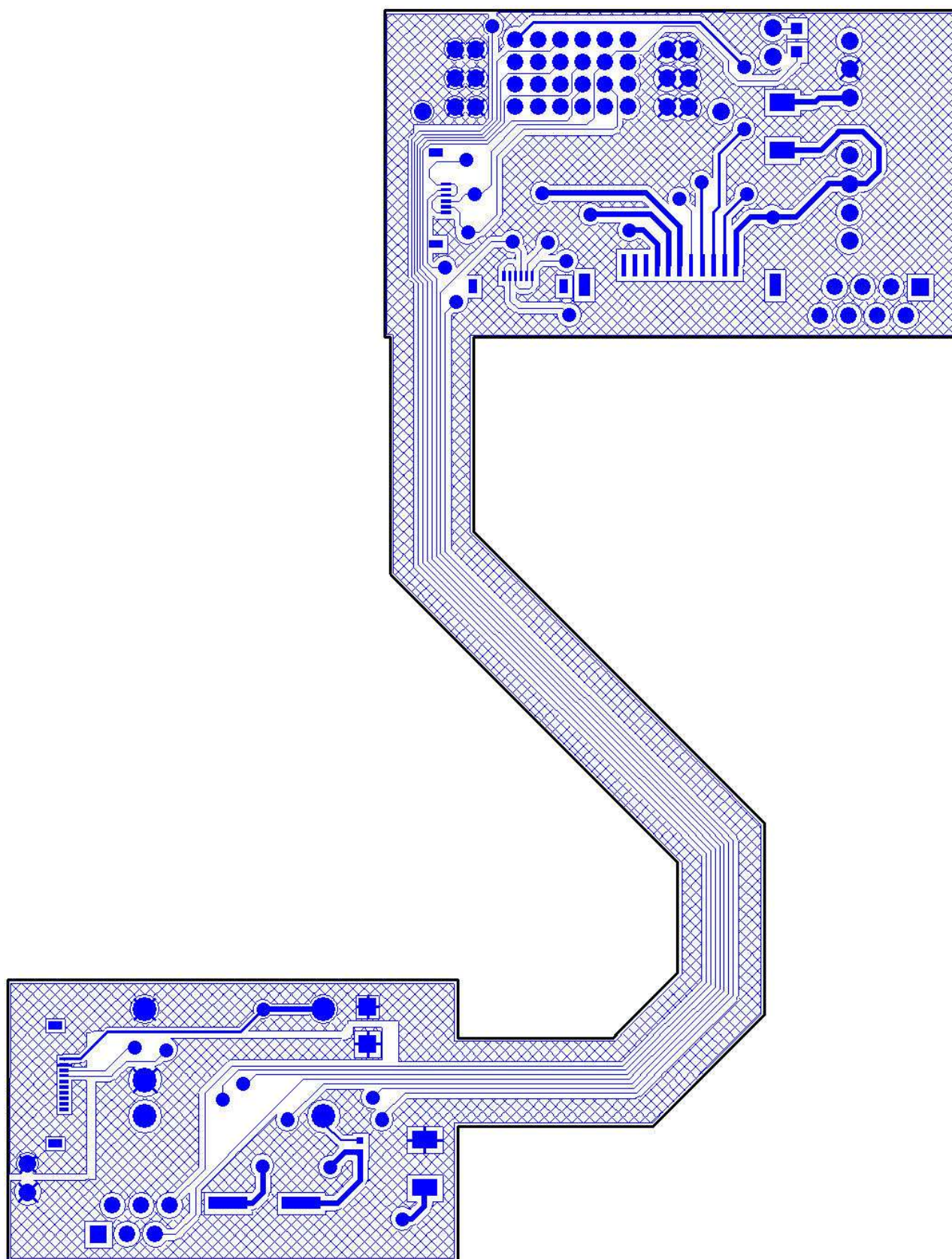


Figura A.5: Cara TOP de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2

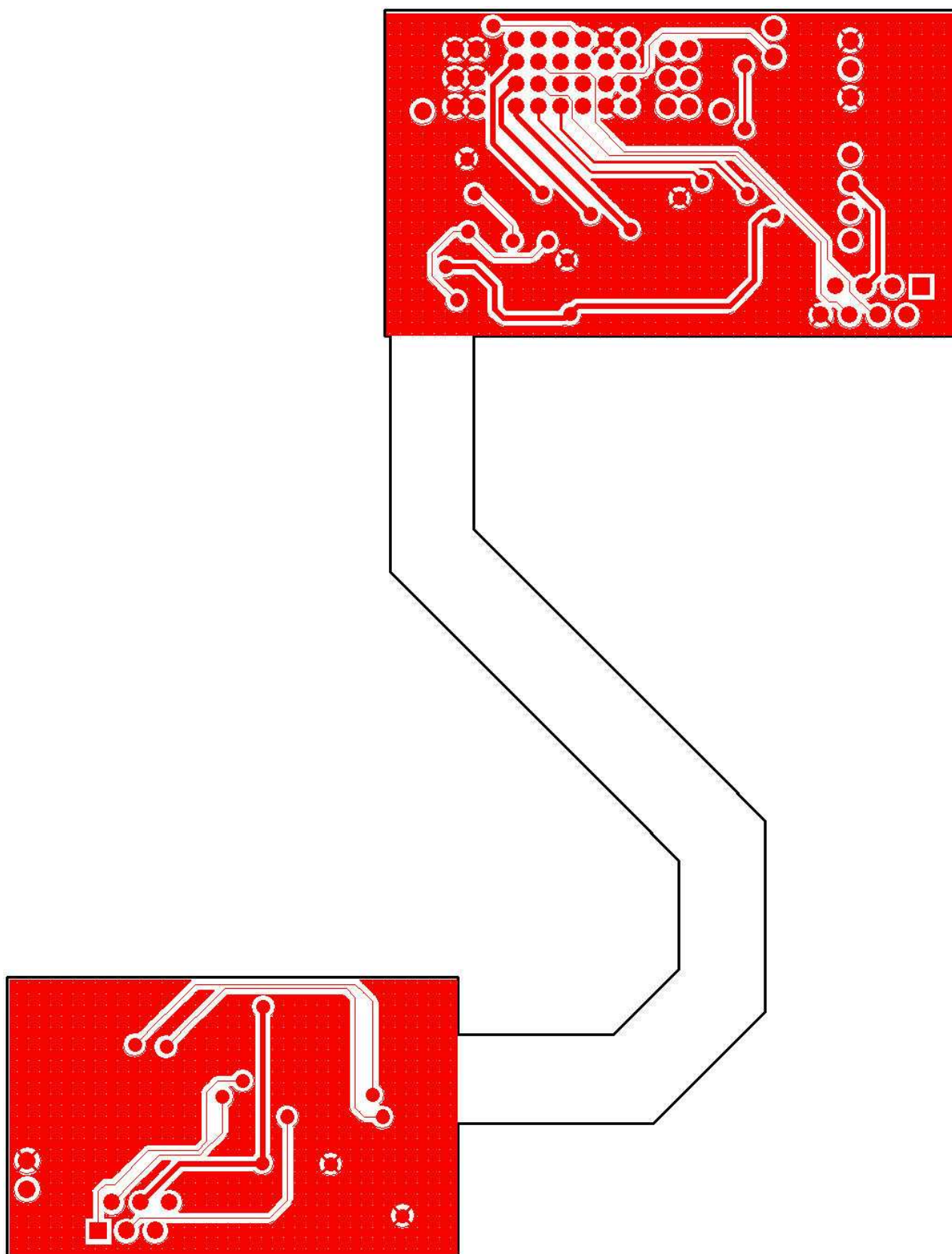


Figura A.6: Cara BOTTOM de la muñeca del brazo izquierdo del RH-2

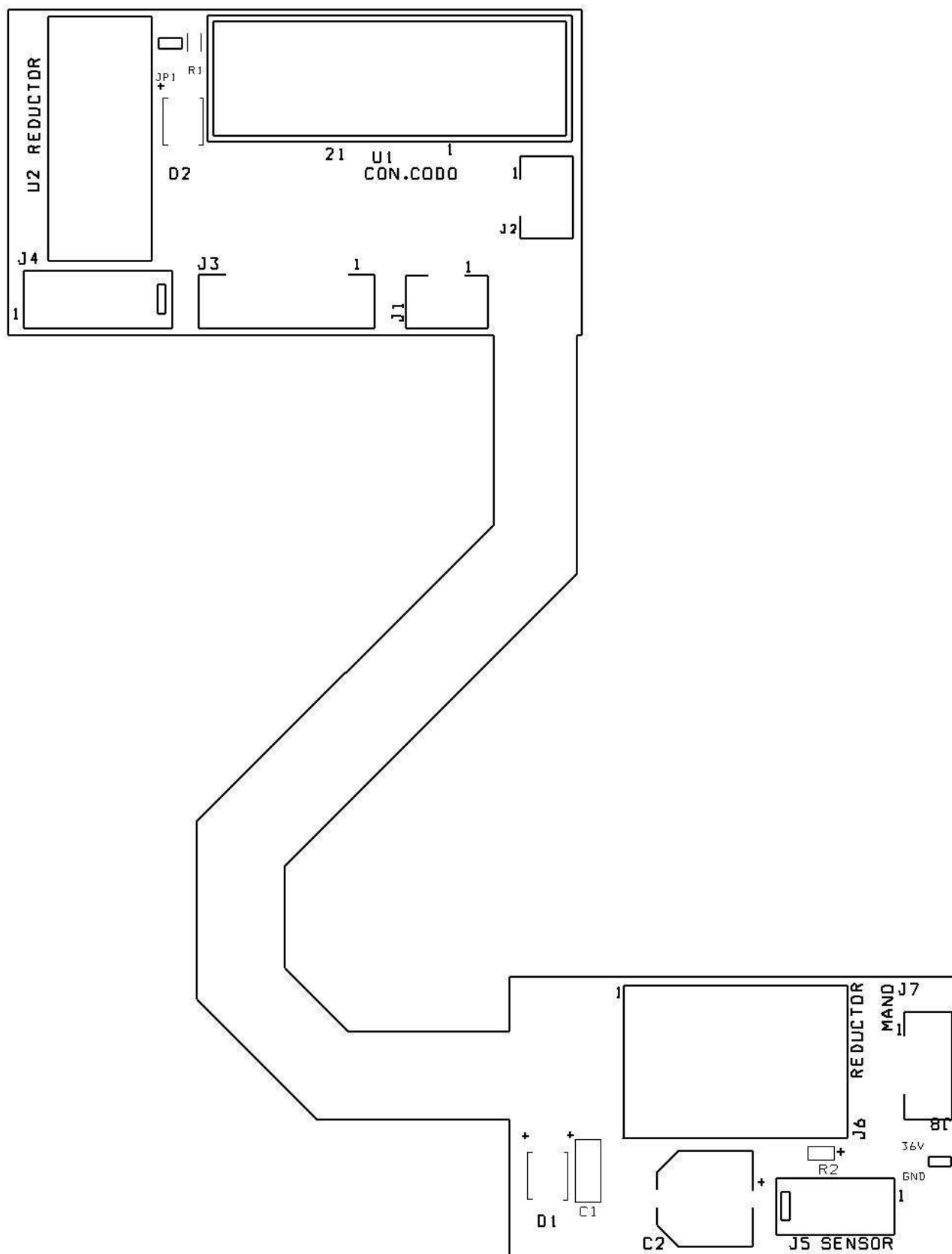


Figura A.7: Serigrafía SSTOP de la muñeca del brazo derecho del RH-2

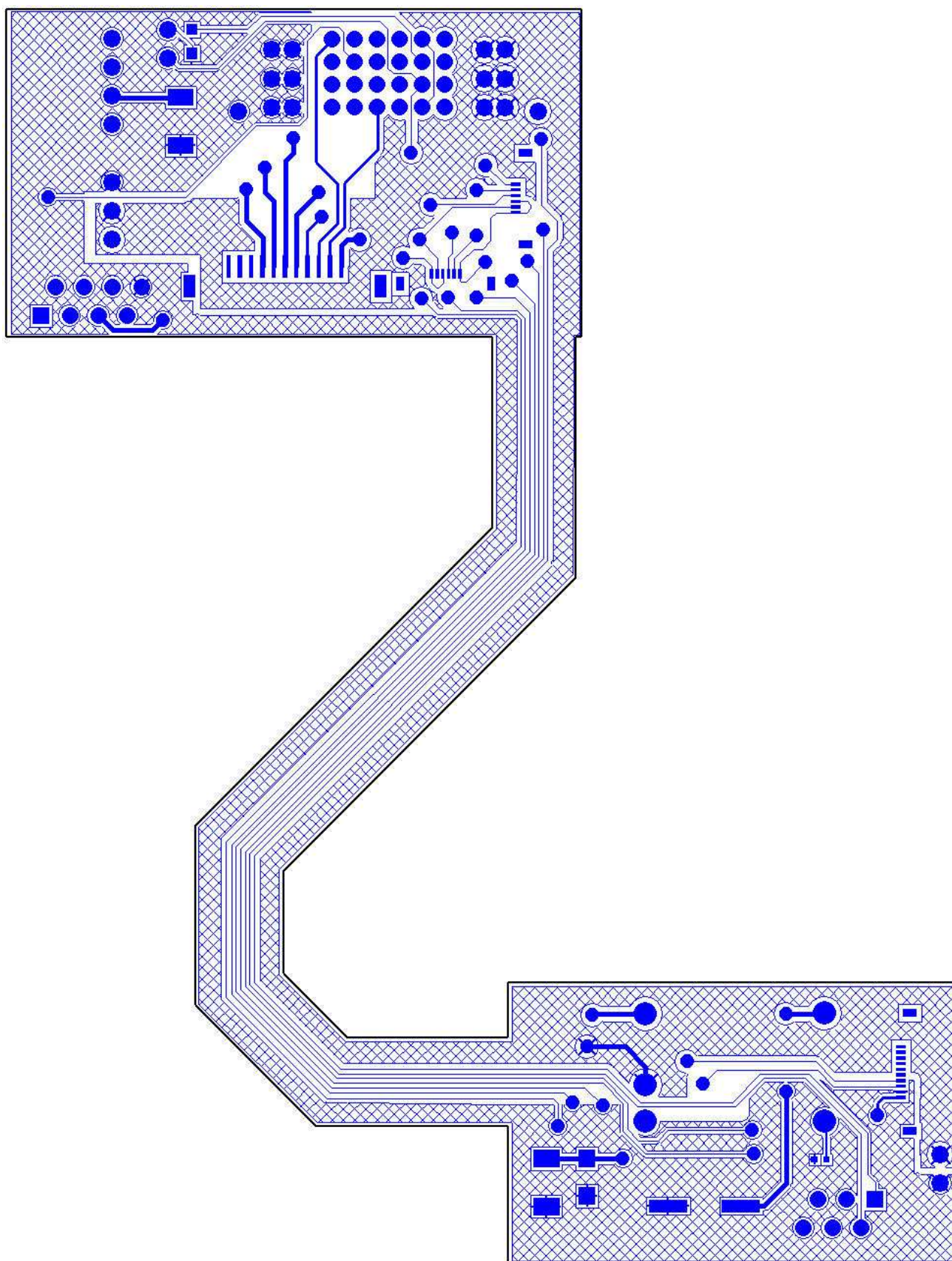


Figura A.8: Cara TOP de la muñeca del brazo derecho del RH-2

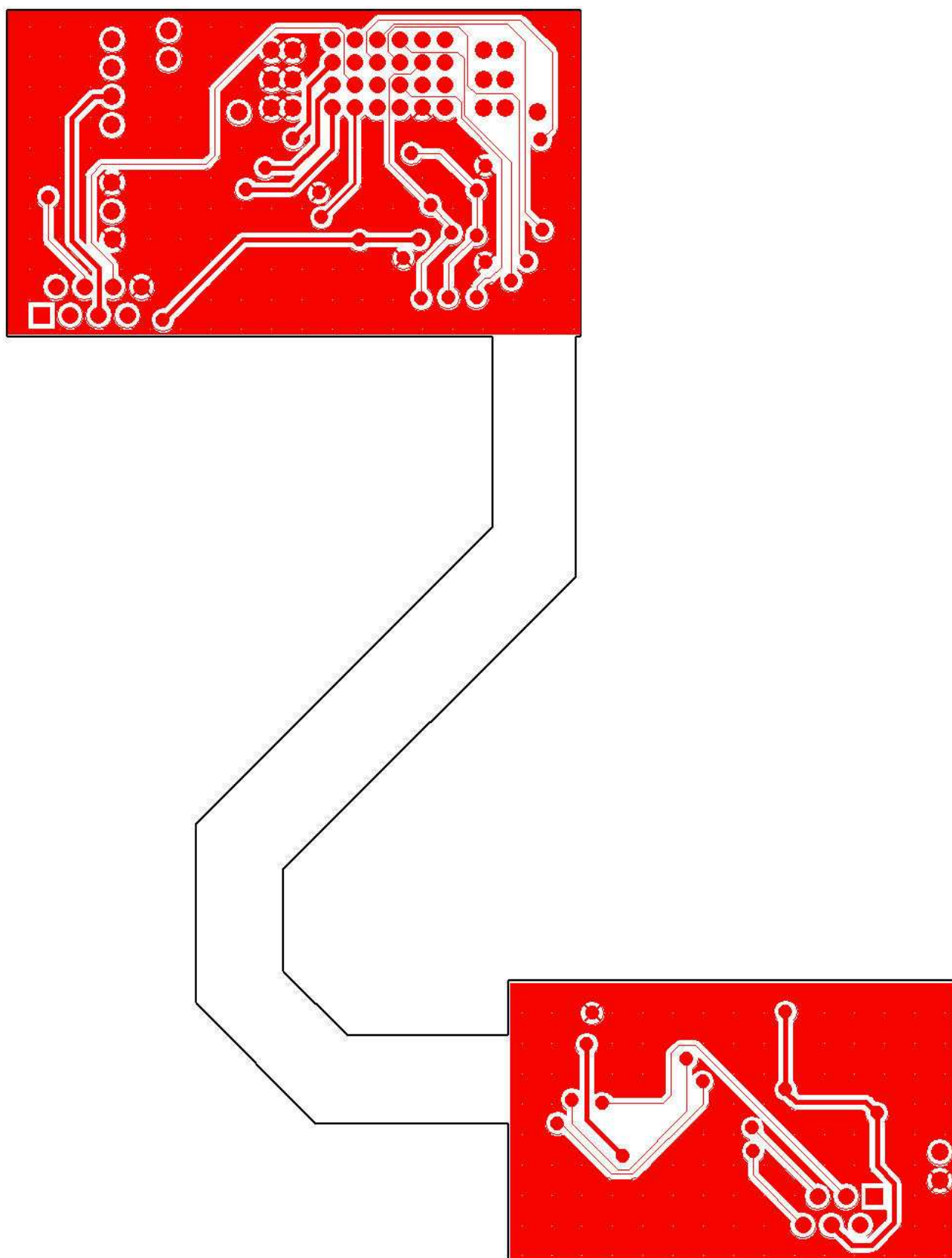


Figura A.9: Cara BOTTOM de la muñeca del brazo derecho del RH-2

A.1.2 Conexión entre la muñeca y el codo.

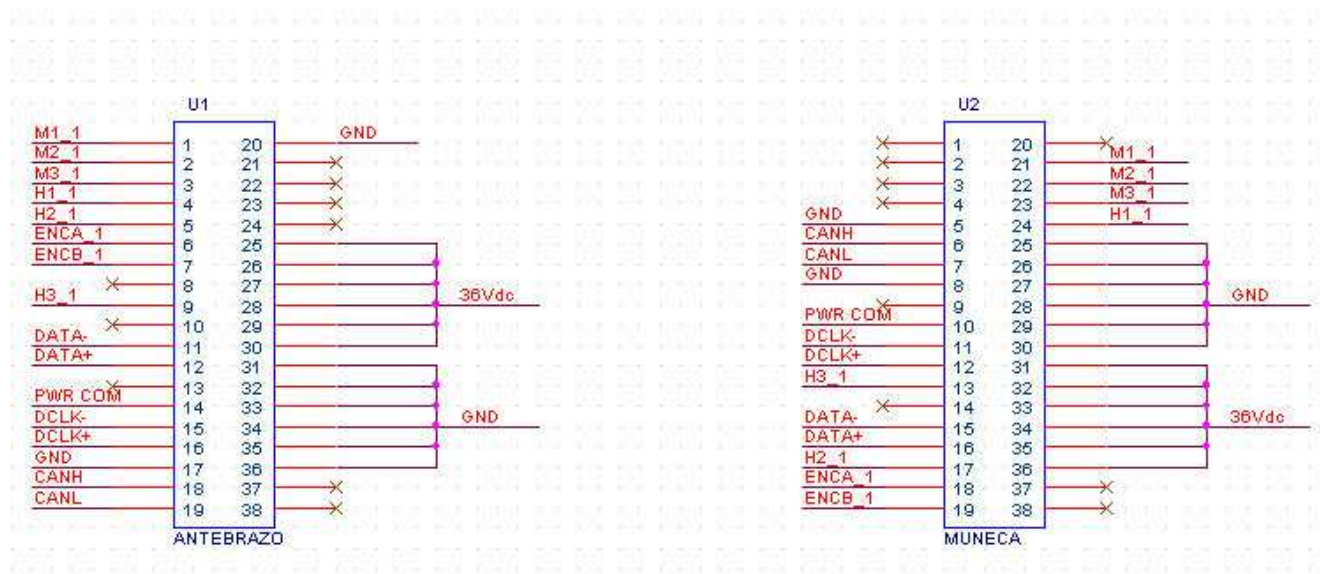


Figura A.10: Esquemático de la conexión entre la muñeca y el codo

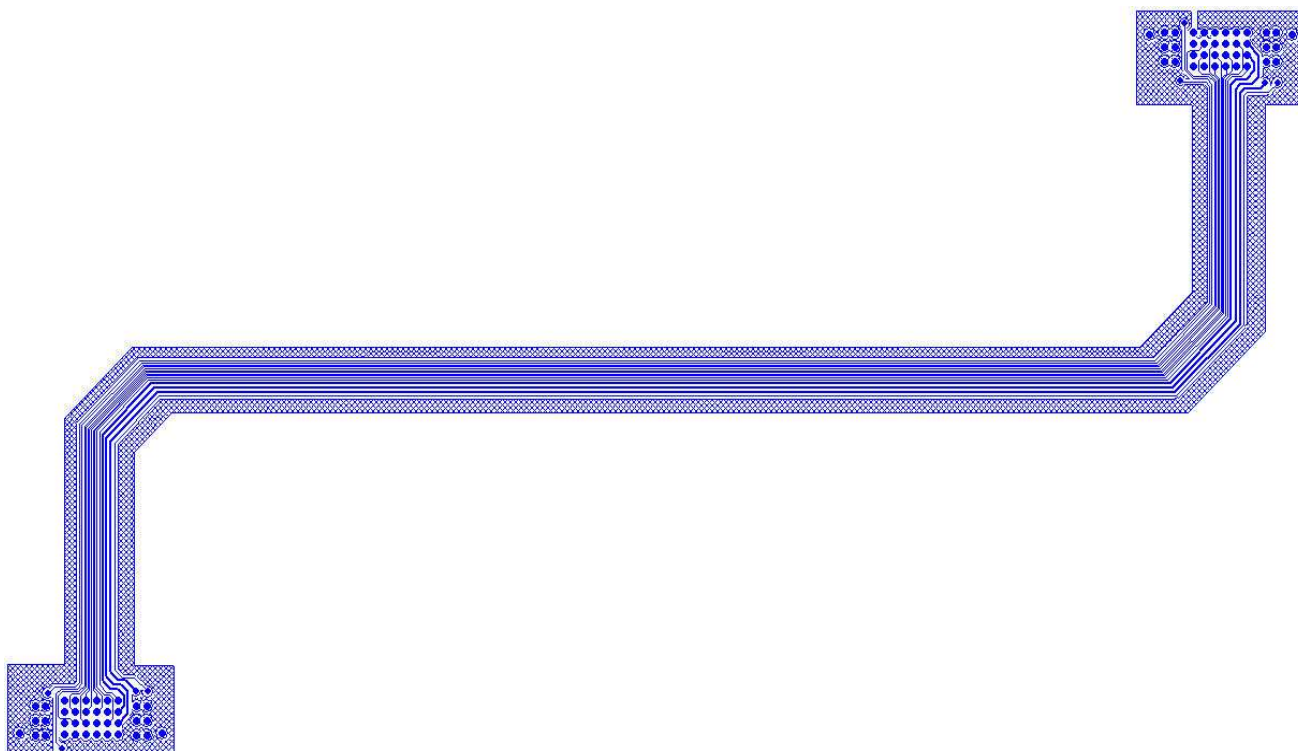


Figura A.11: Cara TOP de la conexión entre la muñeca y el codo

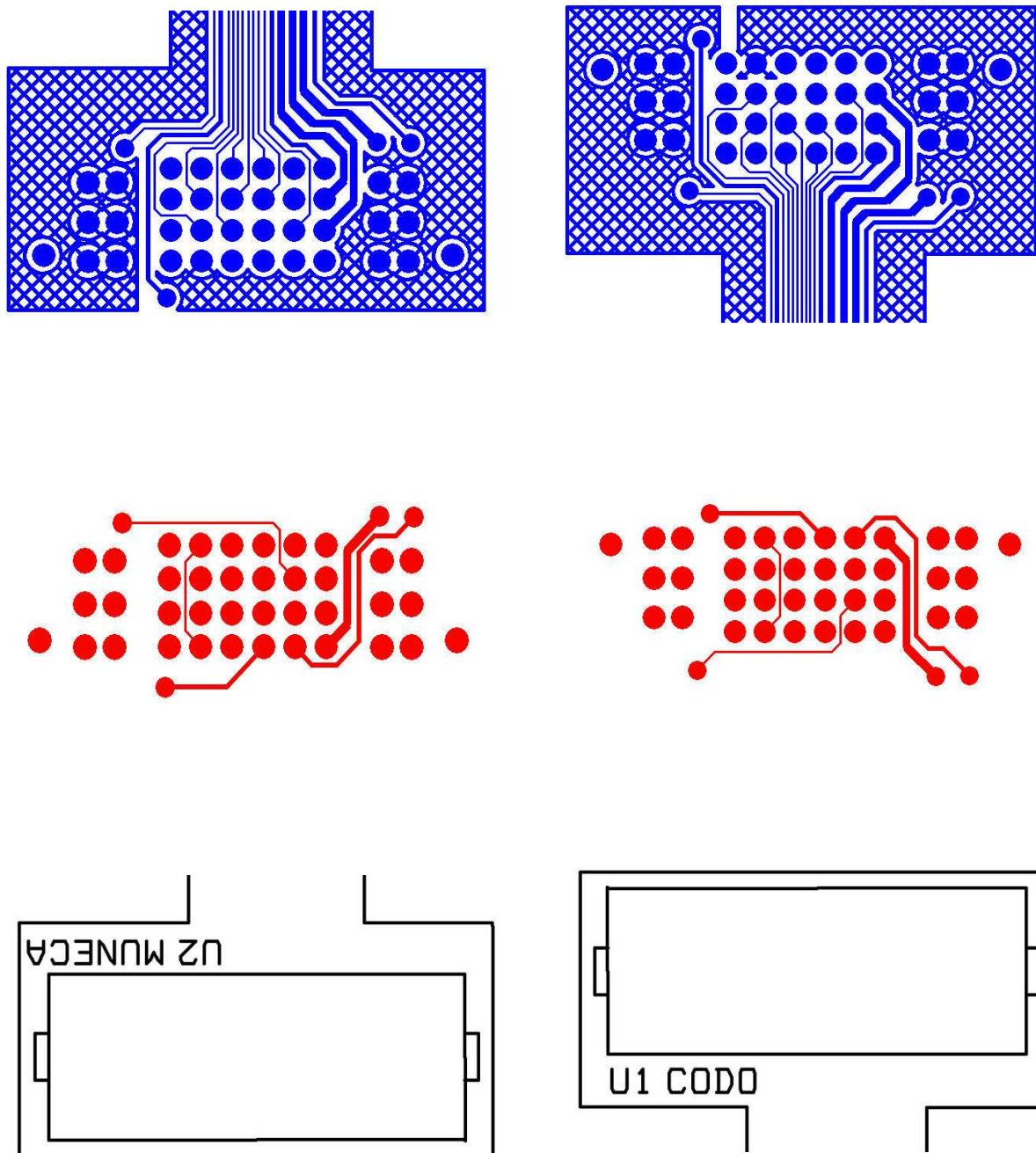


Figura A.12: Cara TOP, BOTTOM y SSTOP de las conexiones en la muñeca (izquierda) y en el codo (derecha)

A.1.3 Codo.

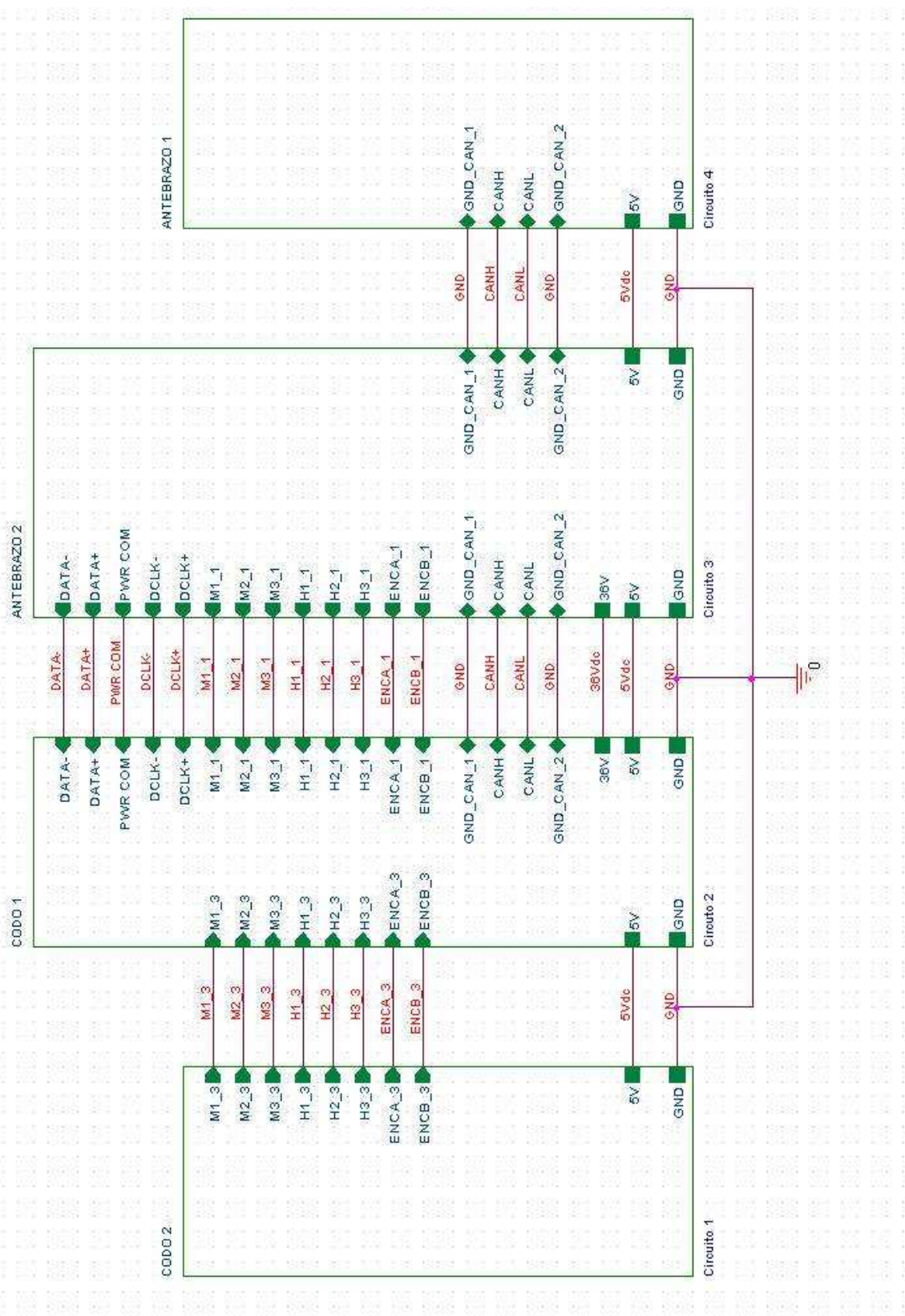


Figura A.13: Esquemático del codo

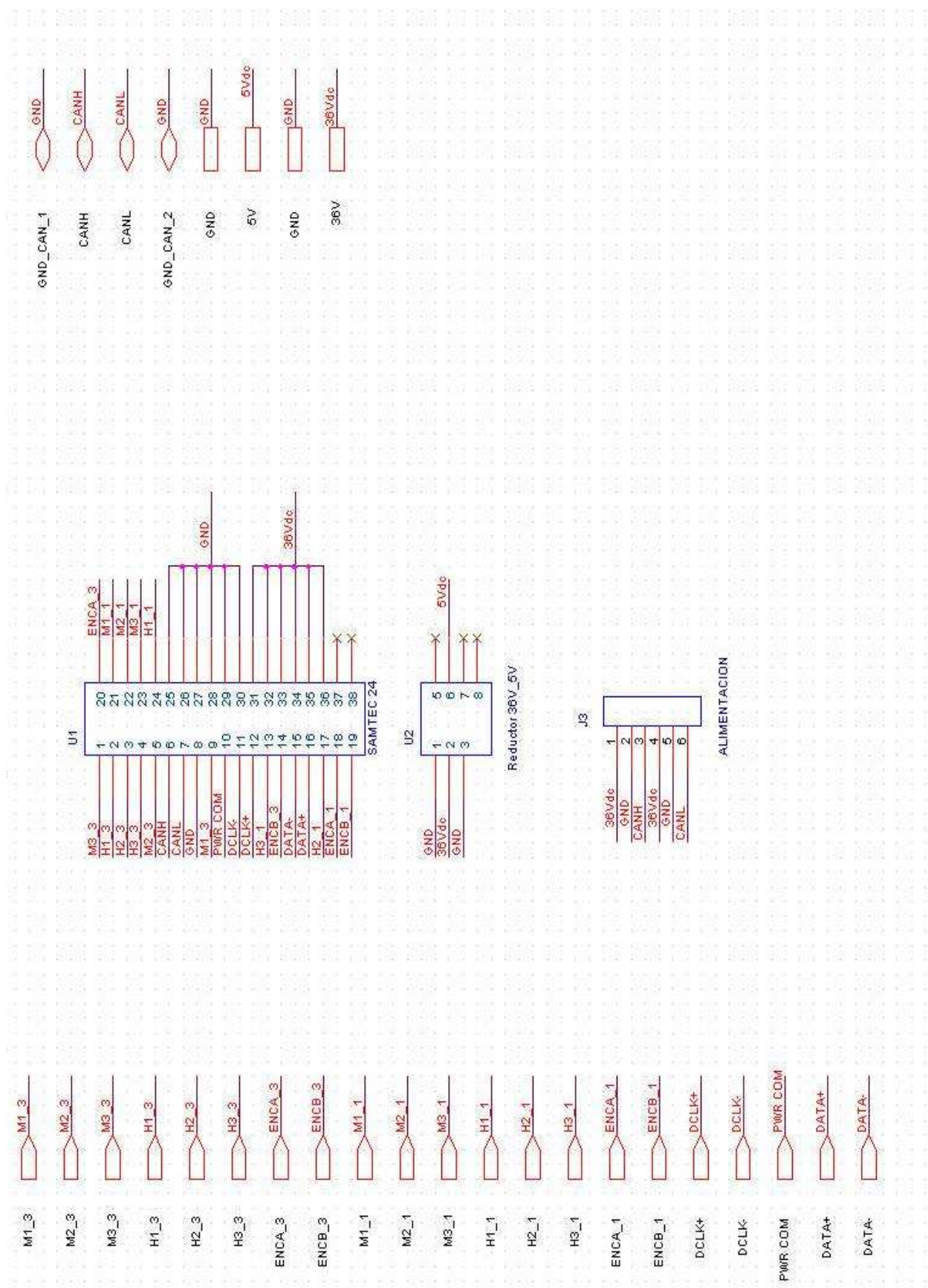


Figura A.14: Esquemático del circuito 1 del codo

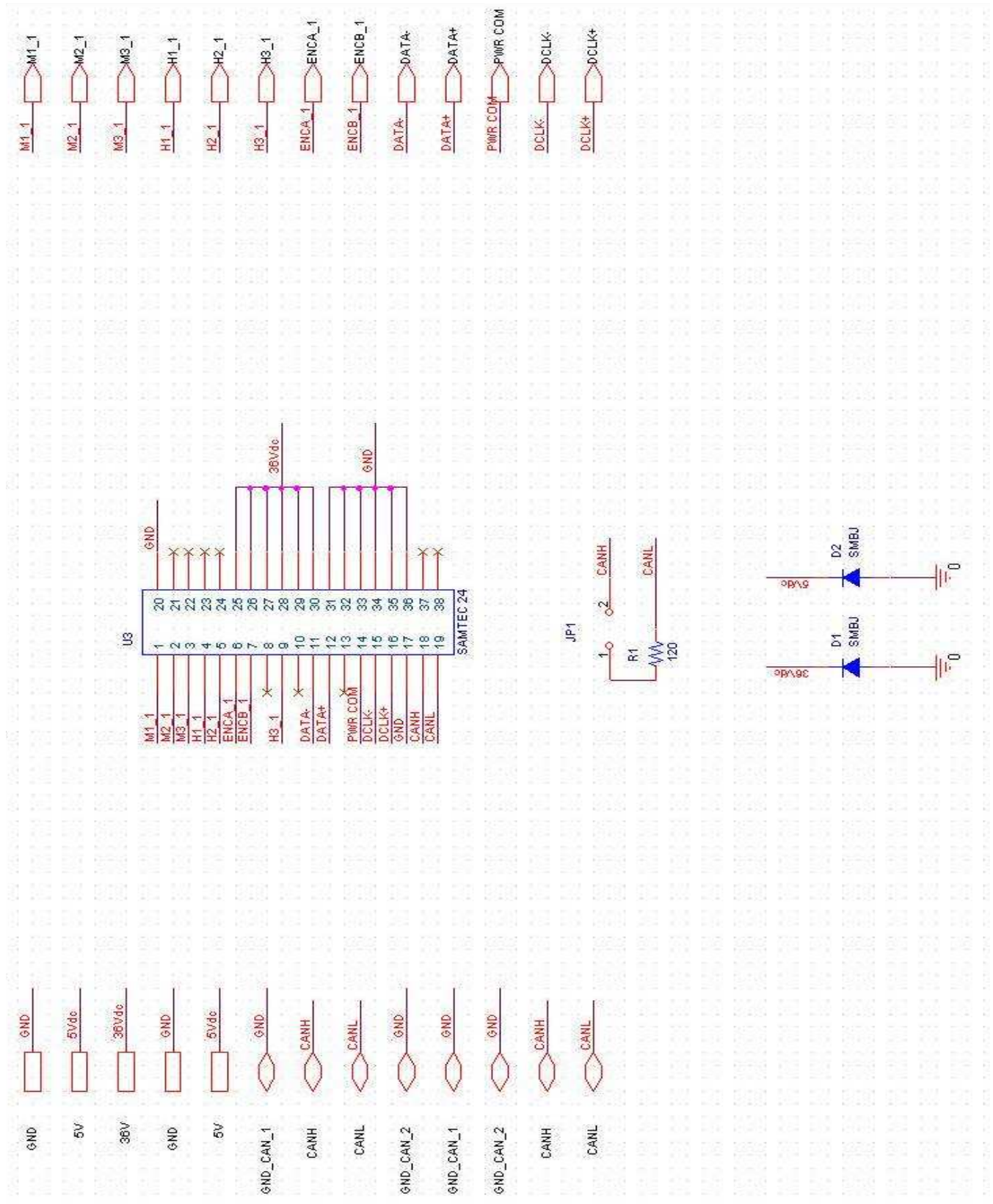


Figura A.15: Esquemático del circuito 2 del codo

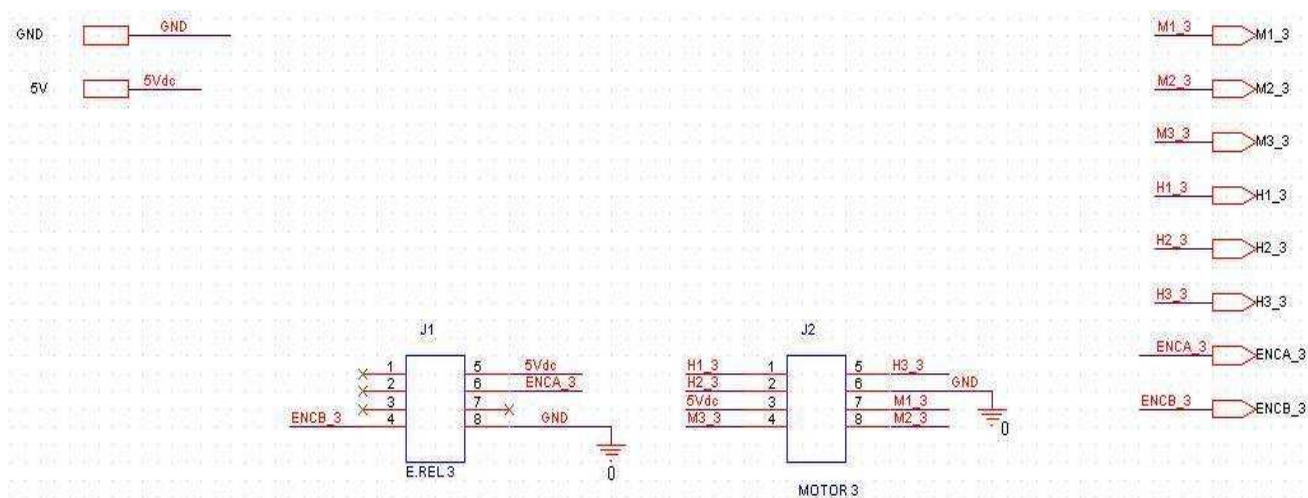


Figura A.16: Esquemático del circuito 3 del codo

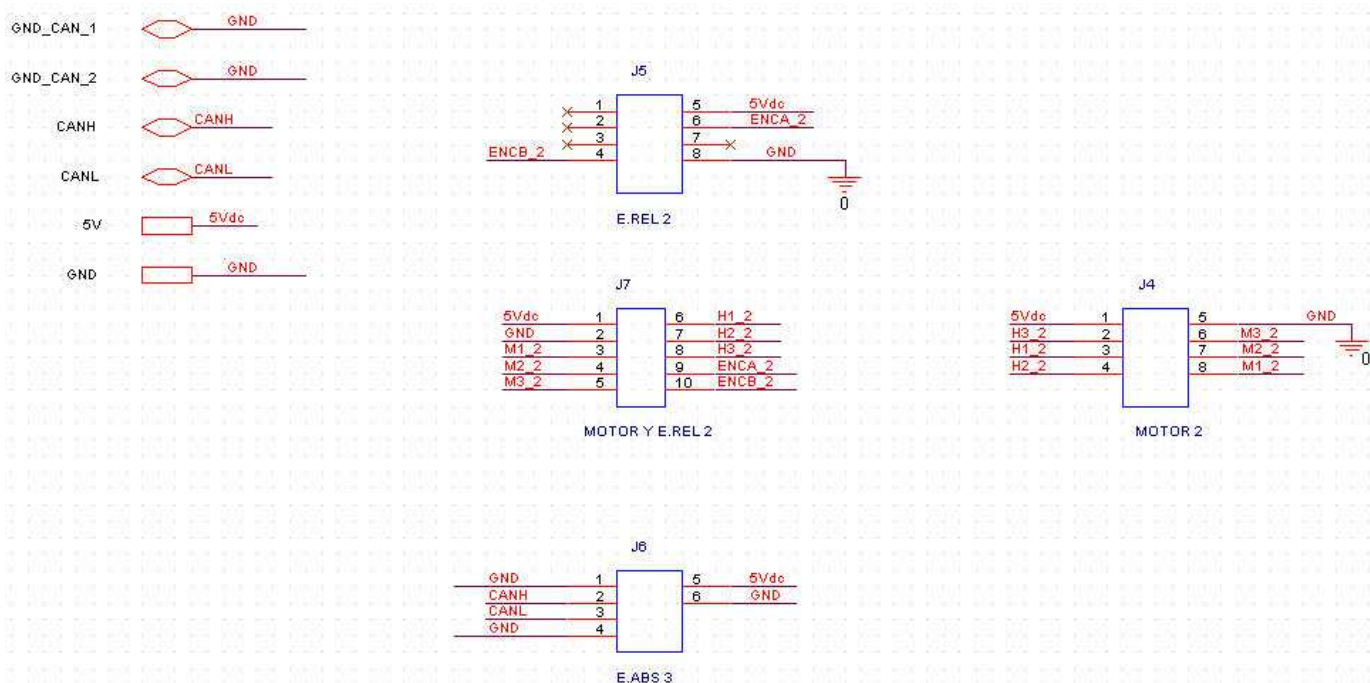


Figura A.17: Esquemático del circuito 4 del codo

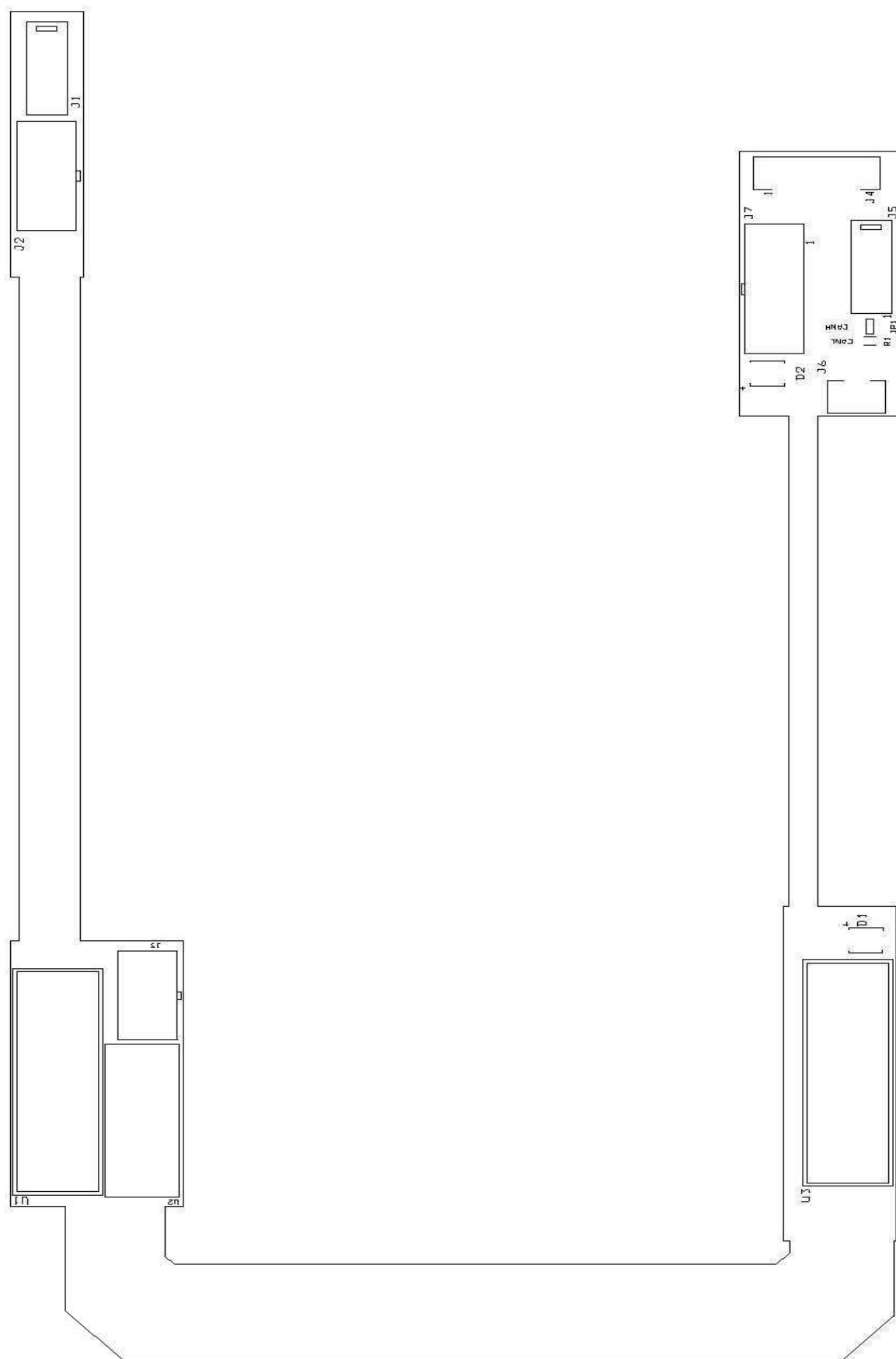


Figura A.18: Cara SSTOP del codo del RH-2

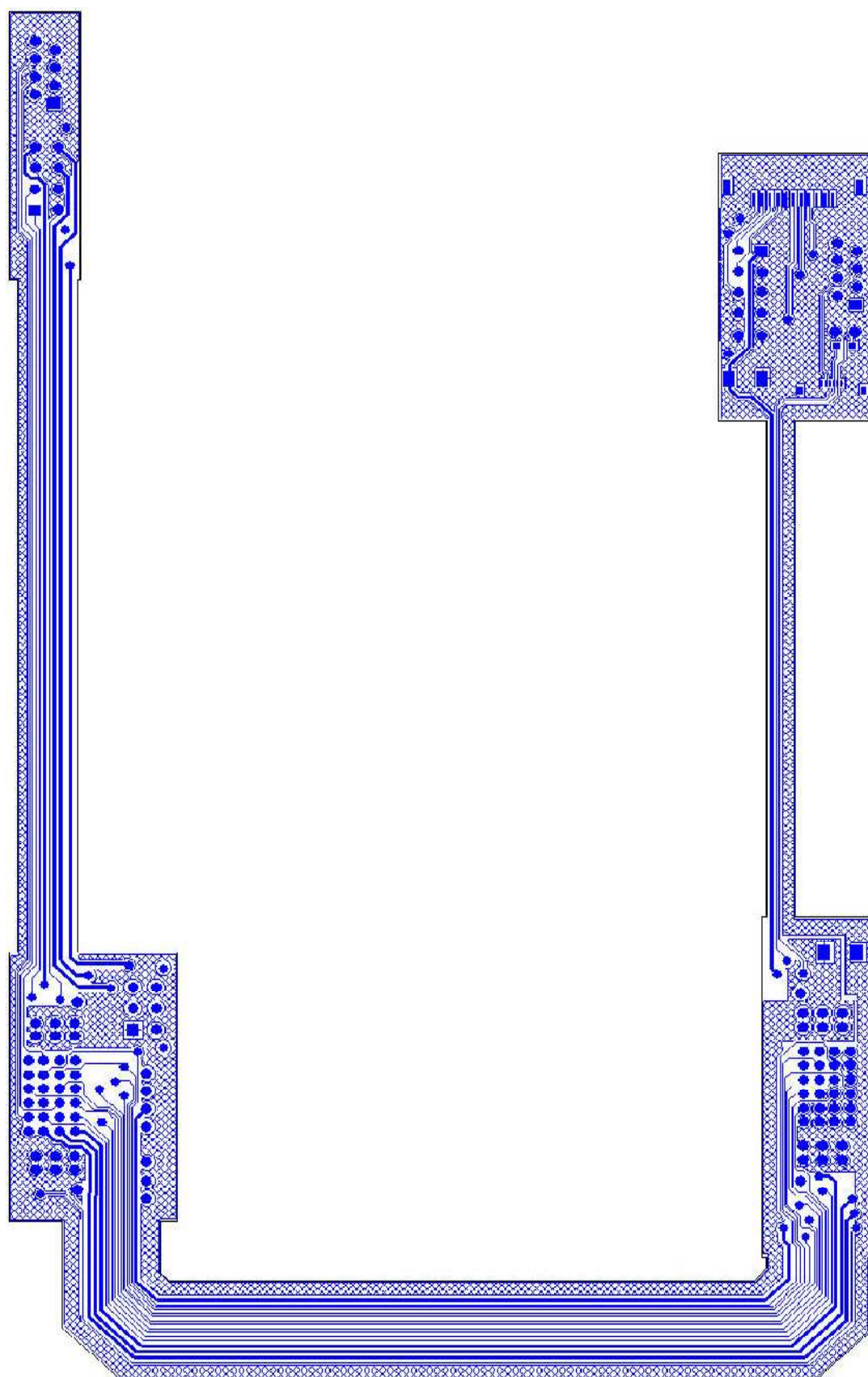


Figura A.19: Cara TOP del codo del RH-2

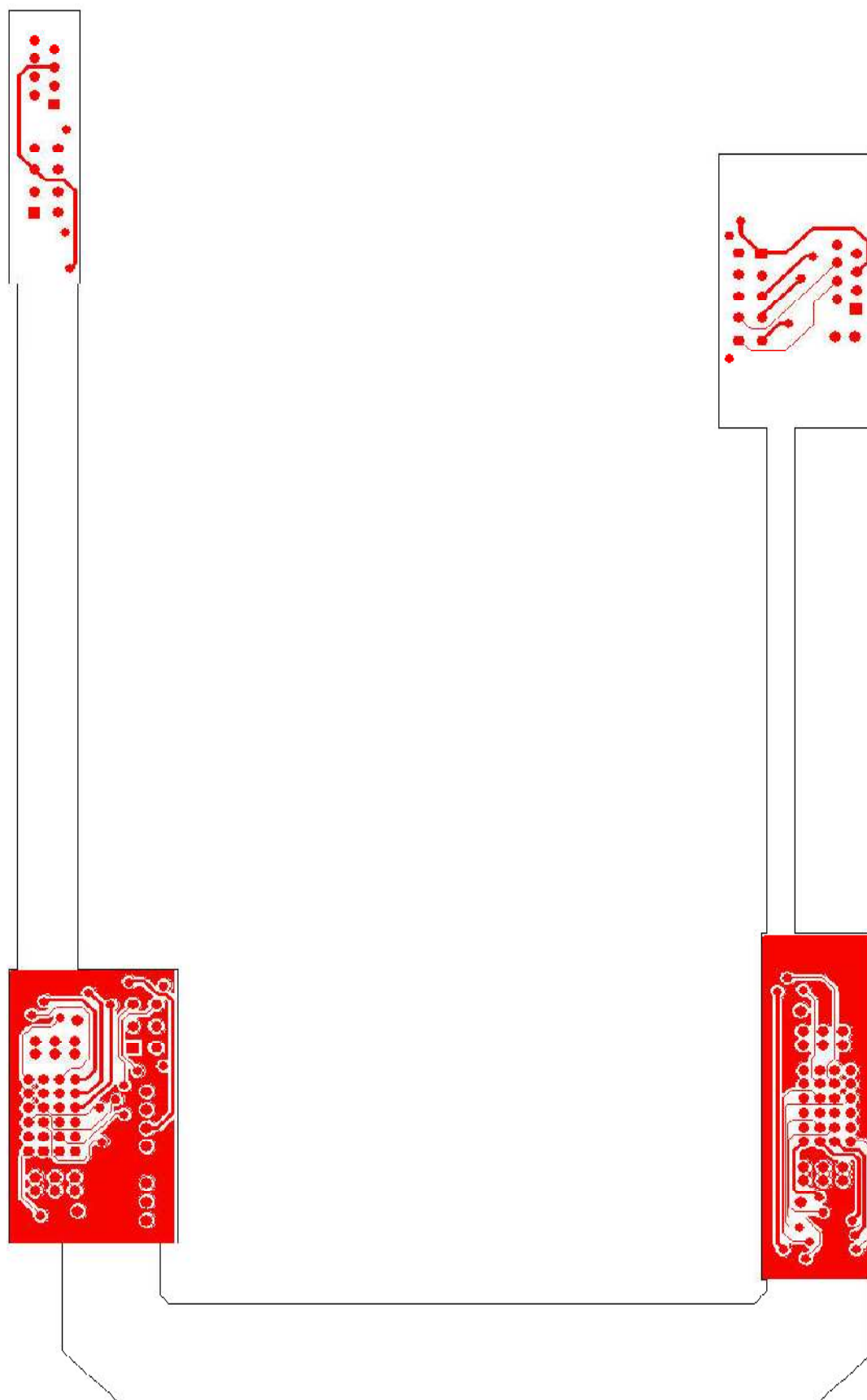


Figura A.20: Cara BOTTOM del codo del RH-2

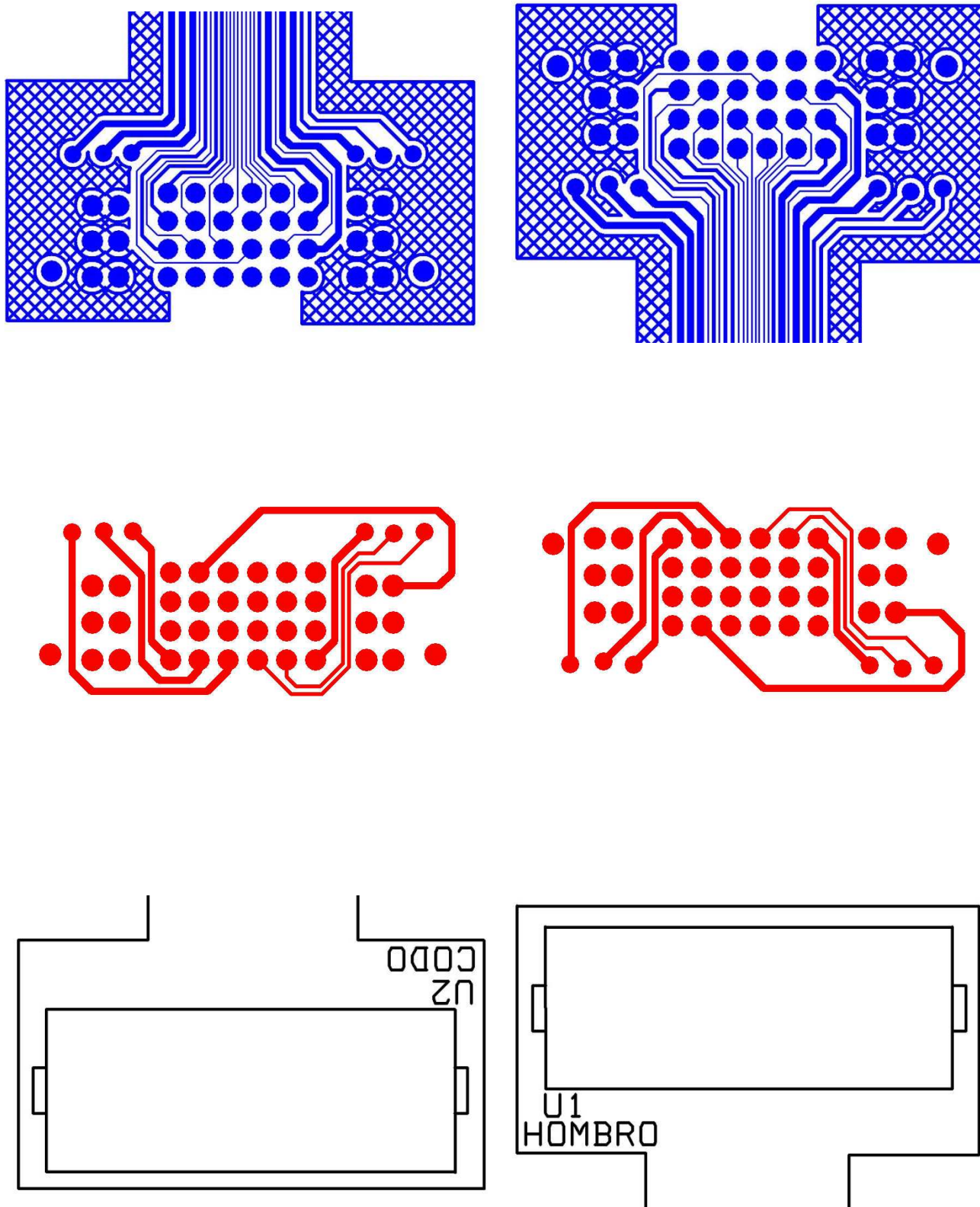


Figura A.23: Cara TOP, BOTTOM y SSTOP de las conexiones en el codo (izquierda) y en el hombro (derecha)

A.1.5 Hombro.

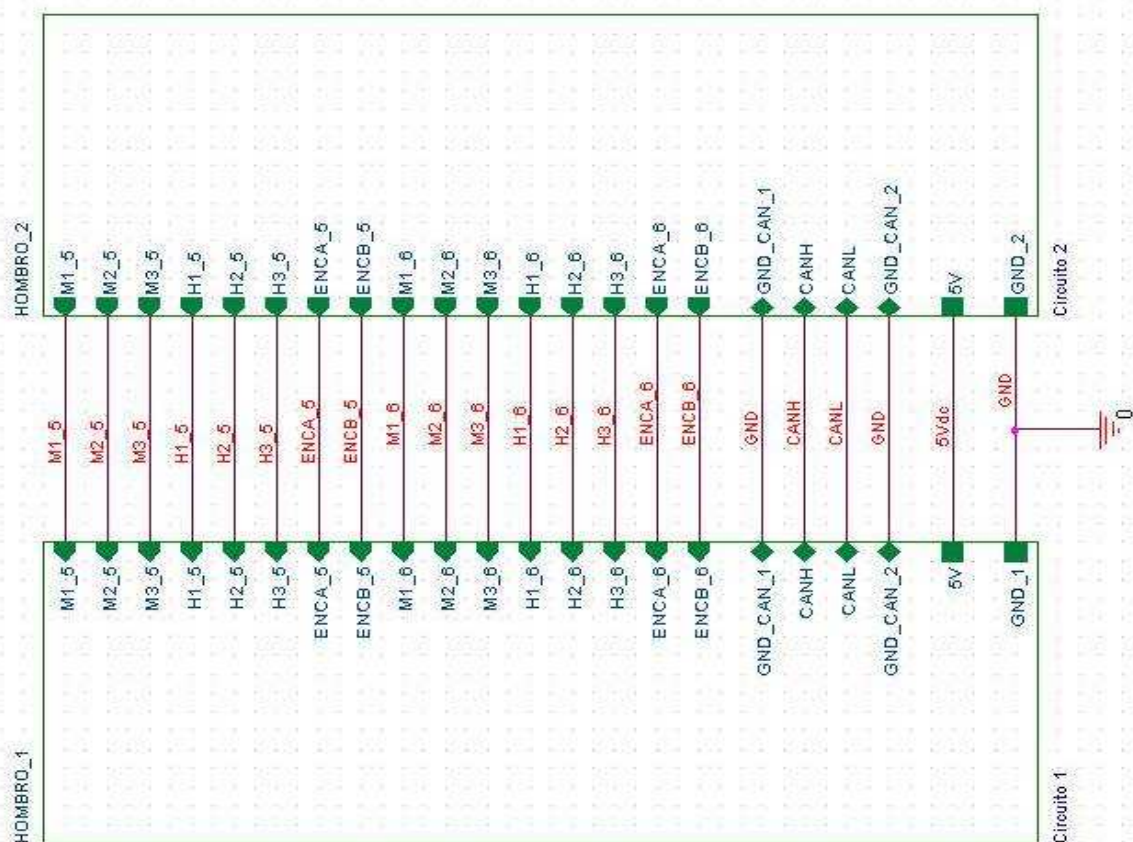


Figura A.24: Esquemático del hombro

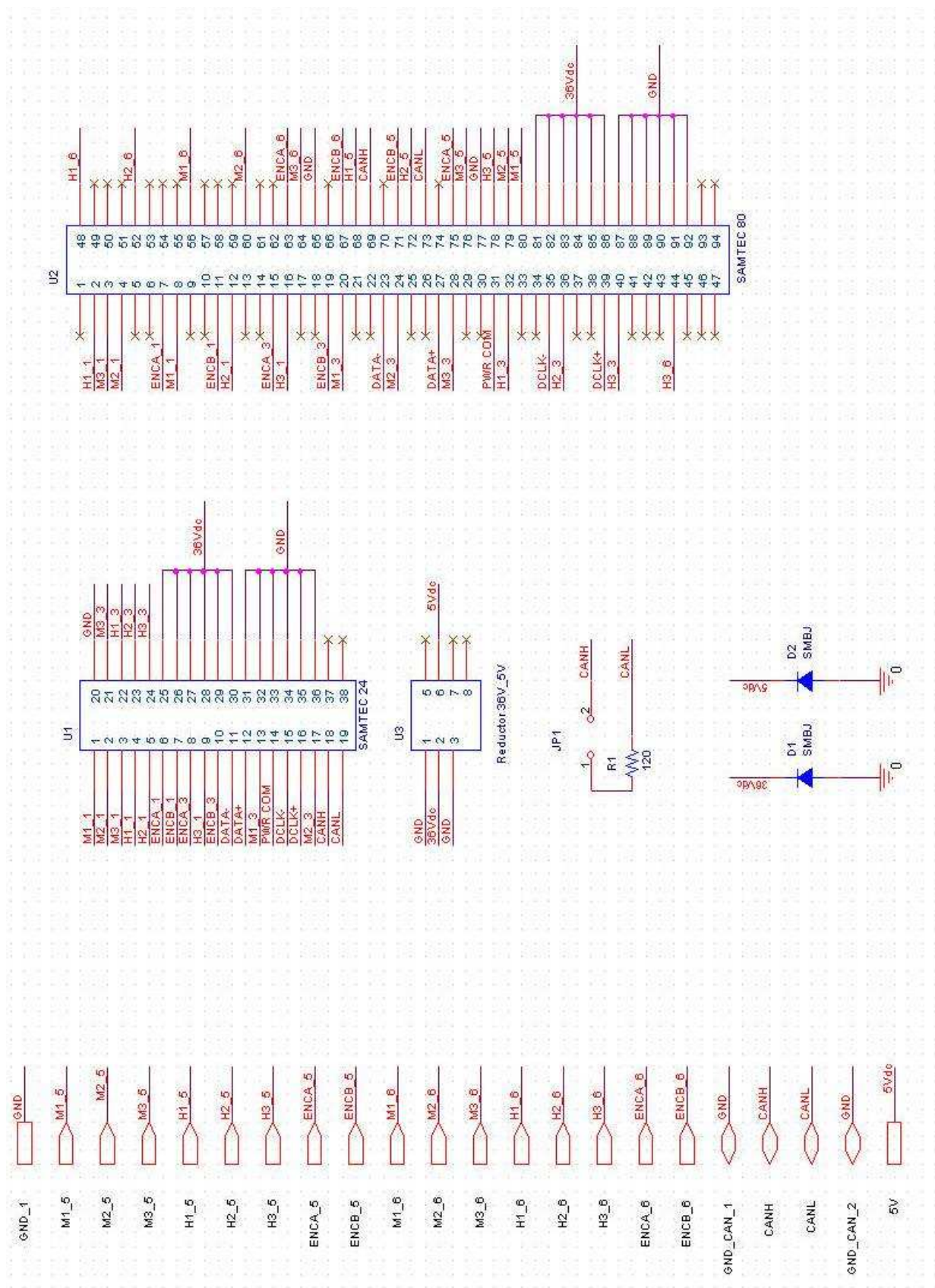


Figura A.25: Esquemático del circuito 1 del hombro izquierdo

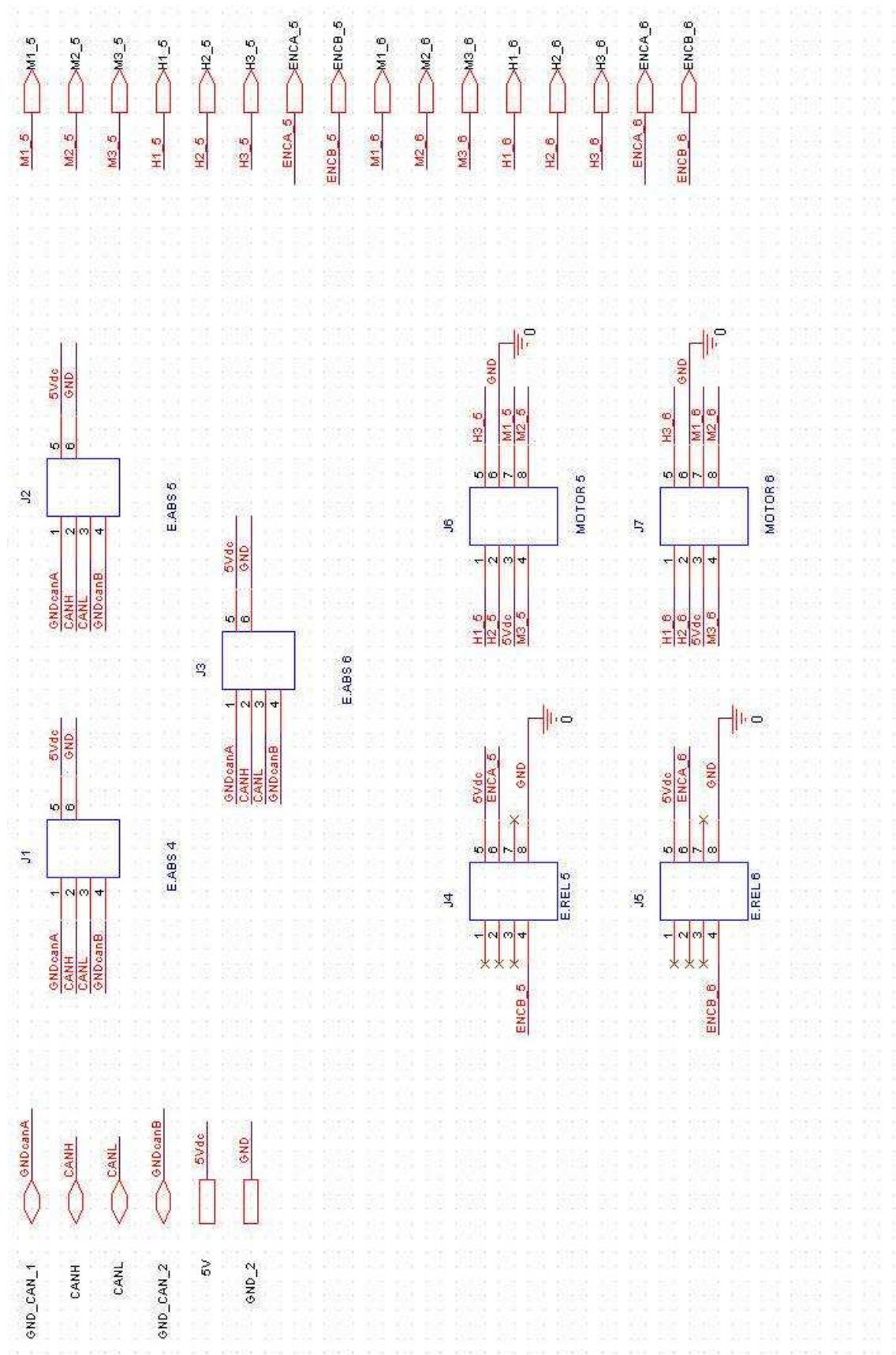


Figura A.26: Esquemático del circuito 2 del hombro

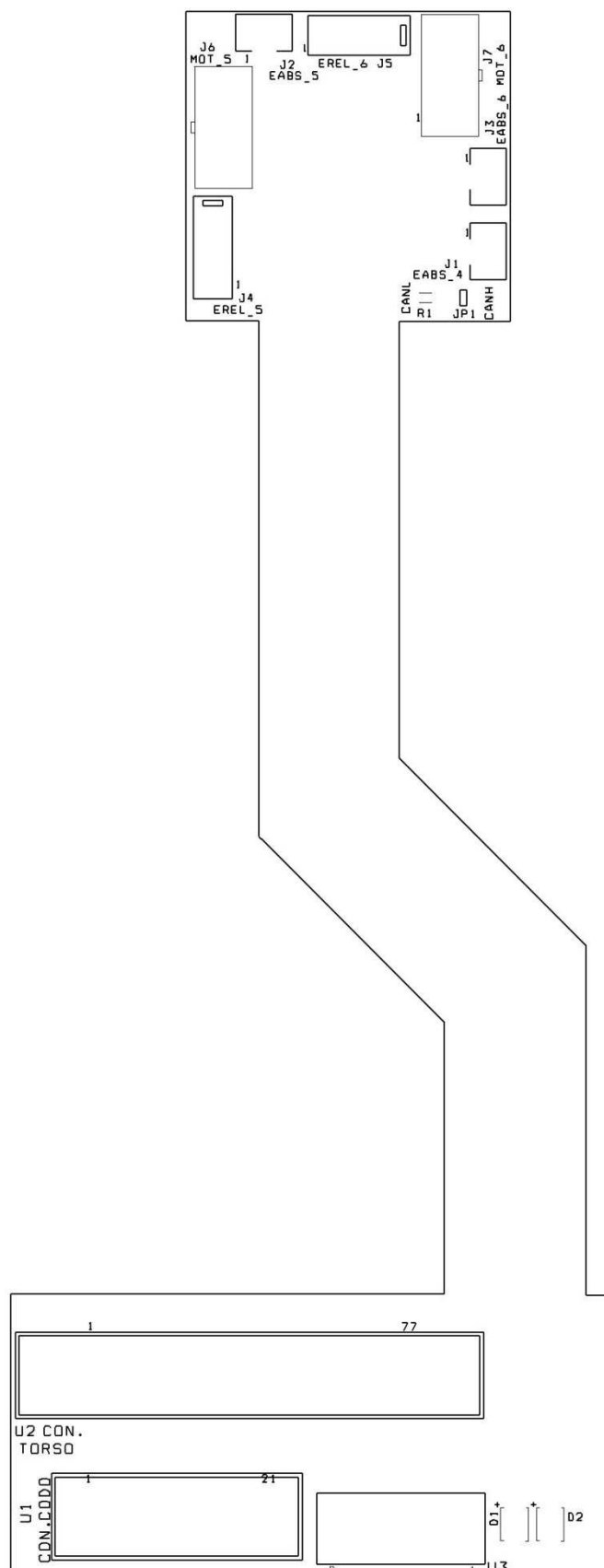


Figura A.27: Cara SSTOP del hombro izquierdo

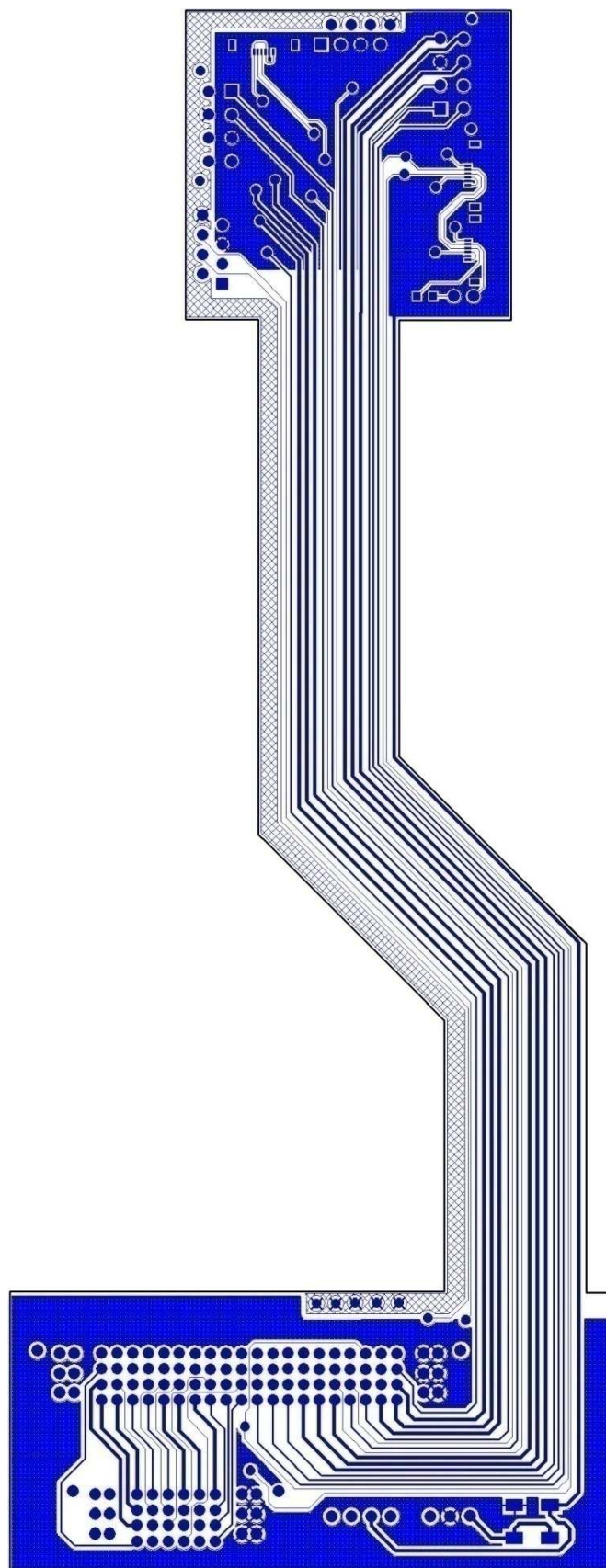


Figura A.28: Cara TOP del hombro izquierdo

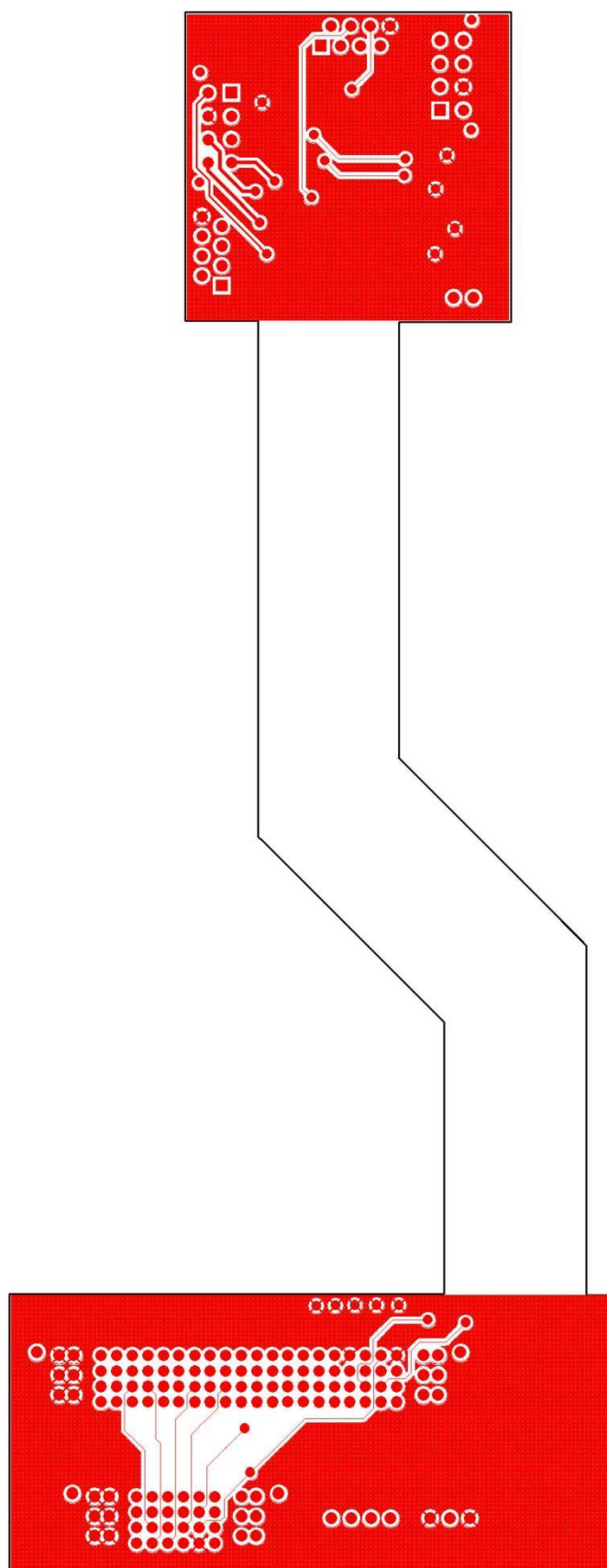


Figura A.29: Cara BOTTOM del hombro izquierdo

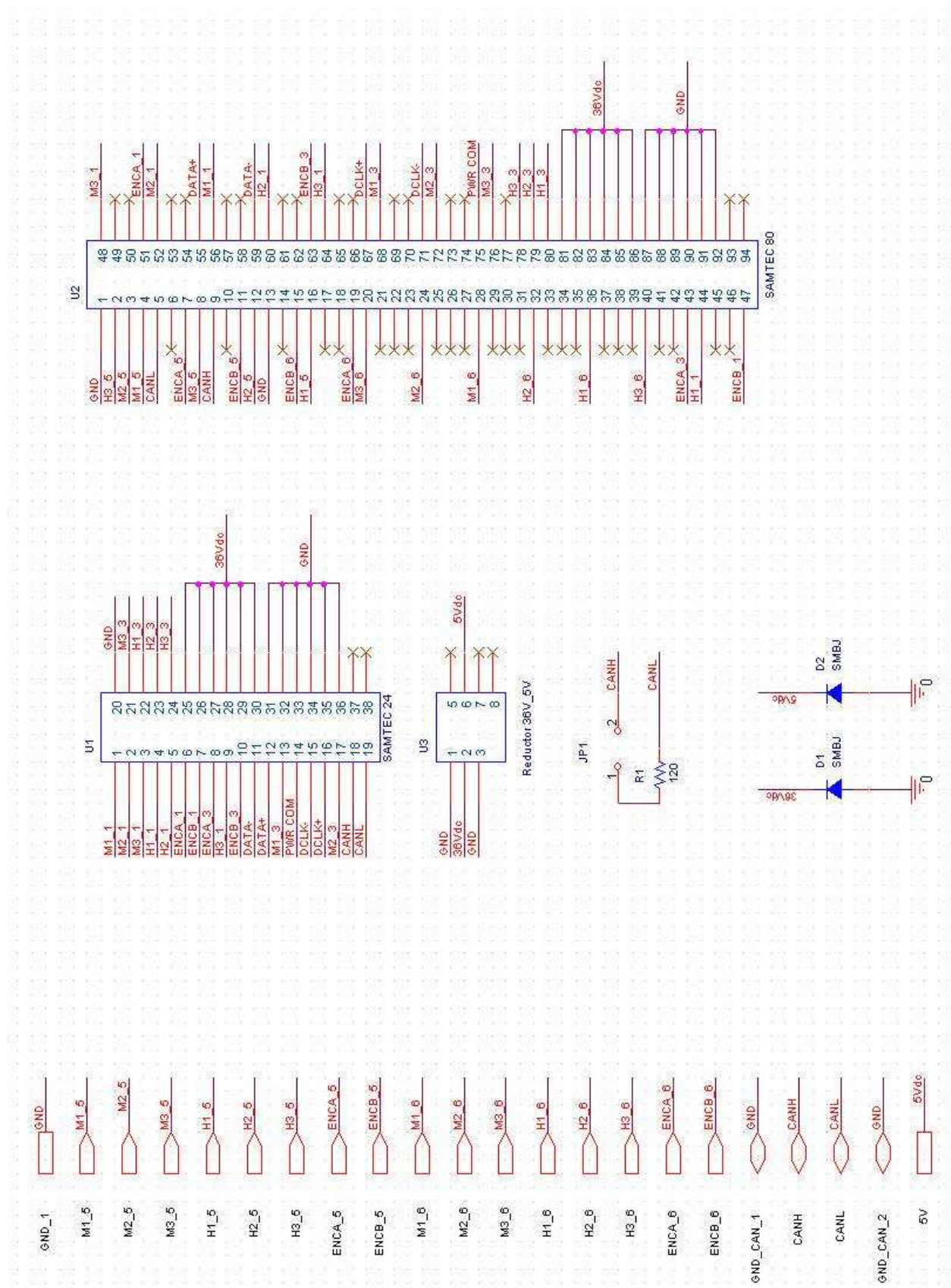


Figura A.30: Esquemático del circuito 1 del hombro derecho

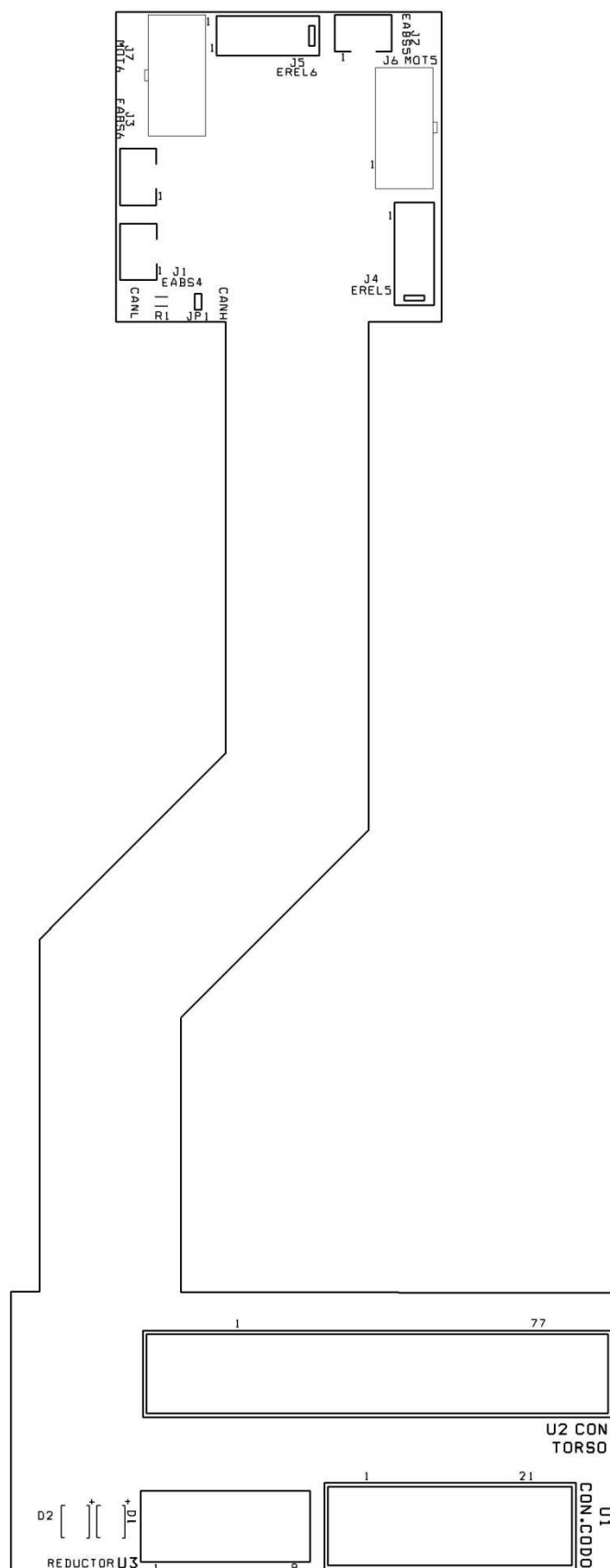


Figura A.31: Cara BOTTOM del hombro derecho

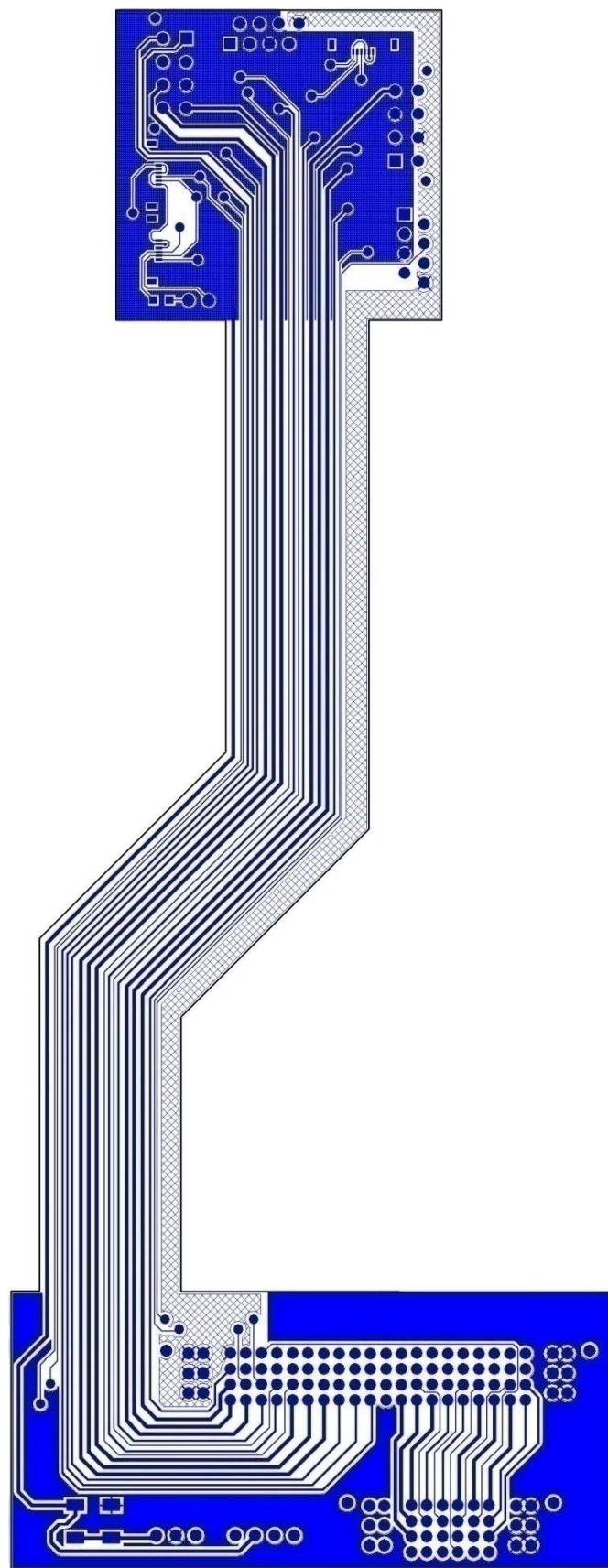


Figura A.32: Cara TOP del hombro derecho

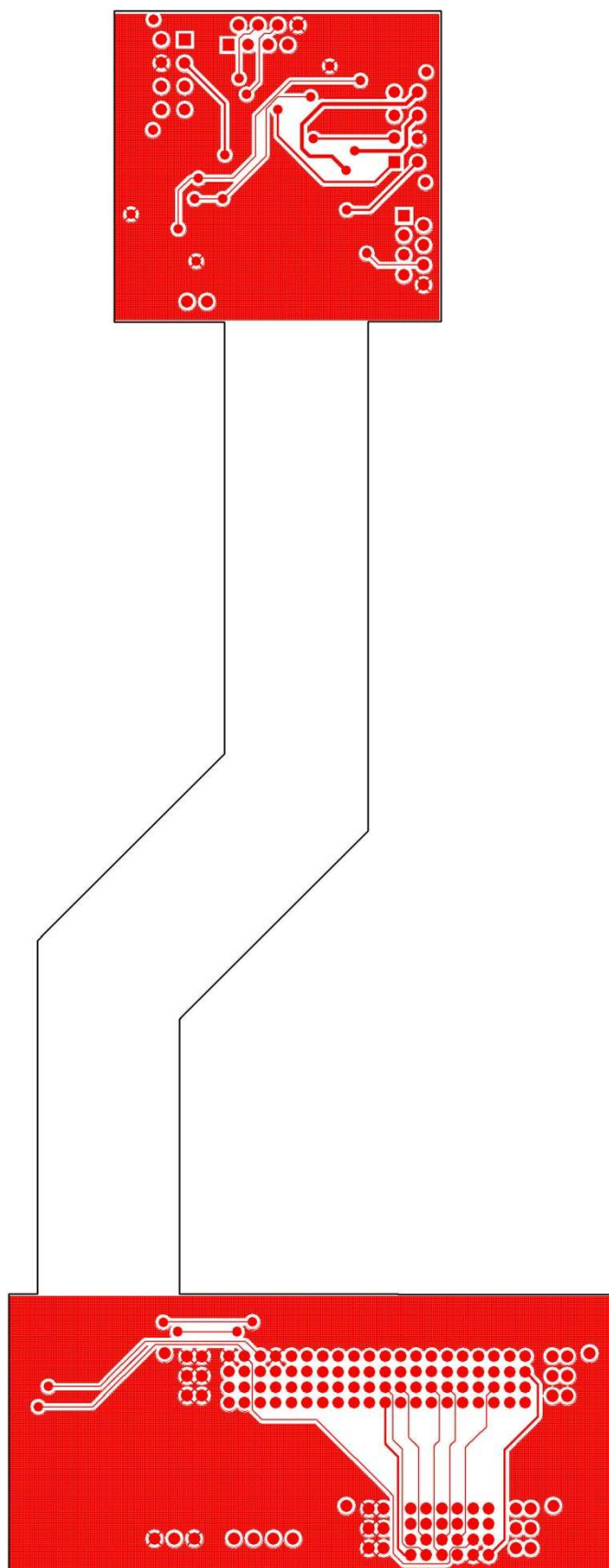


Figura A.33: Cara BOTTOM del hombro derecho

A.1.6 Interior del brazo.

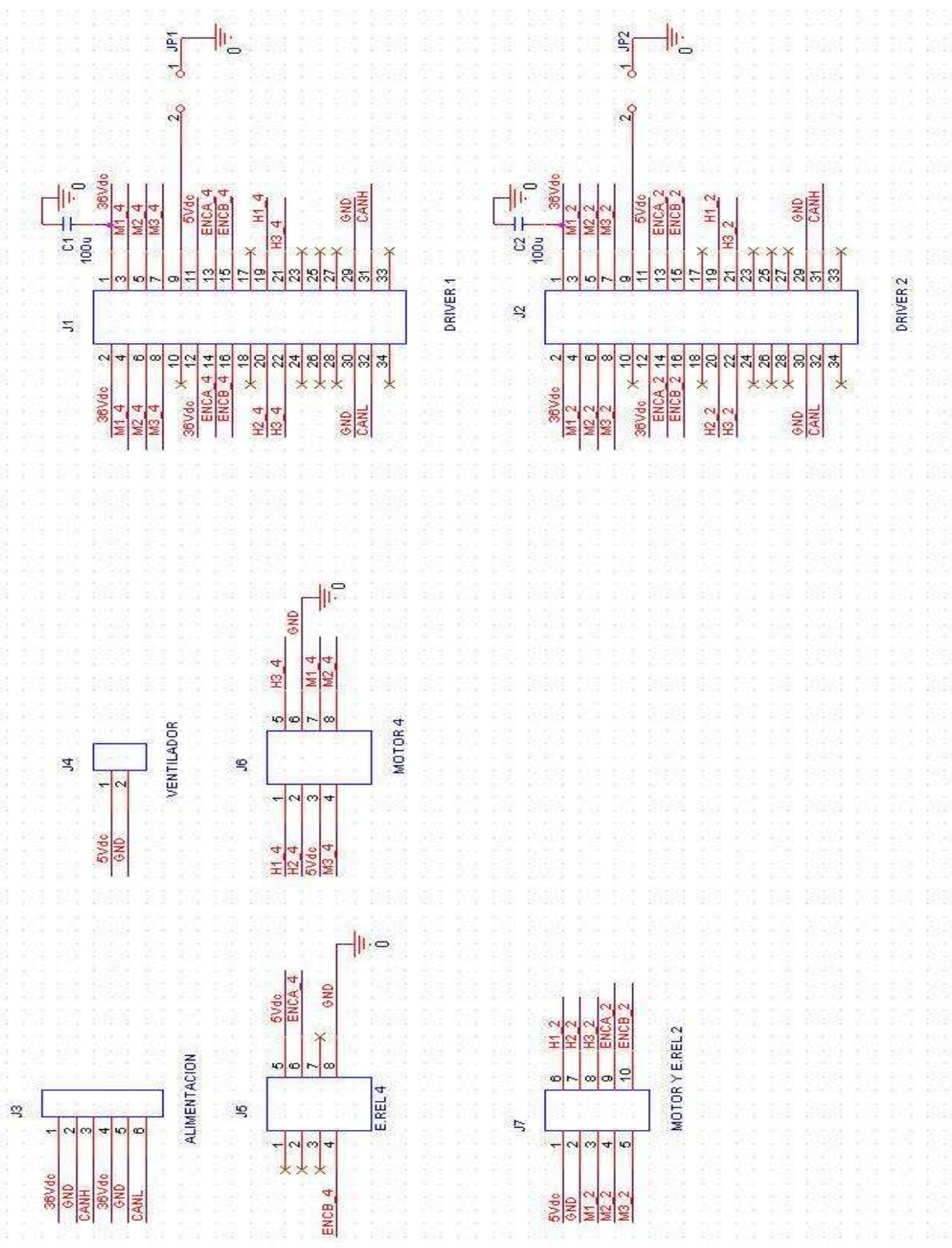


Figura A.34: Esquemático del circuito del interior del brazo

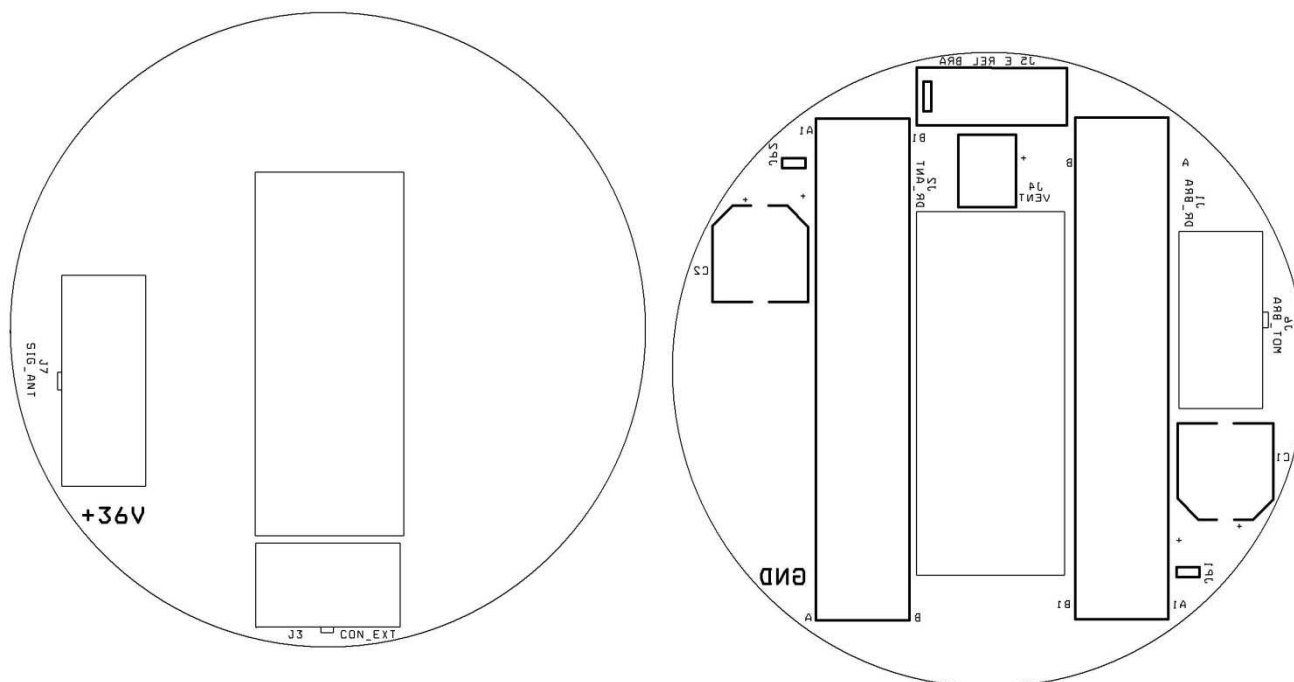


Figura A.35: Cara SSTOP y SSBOTTOM del interior del brazo

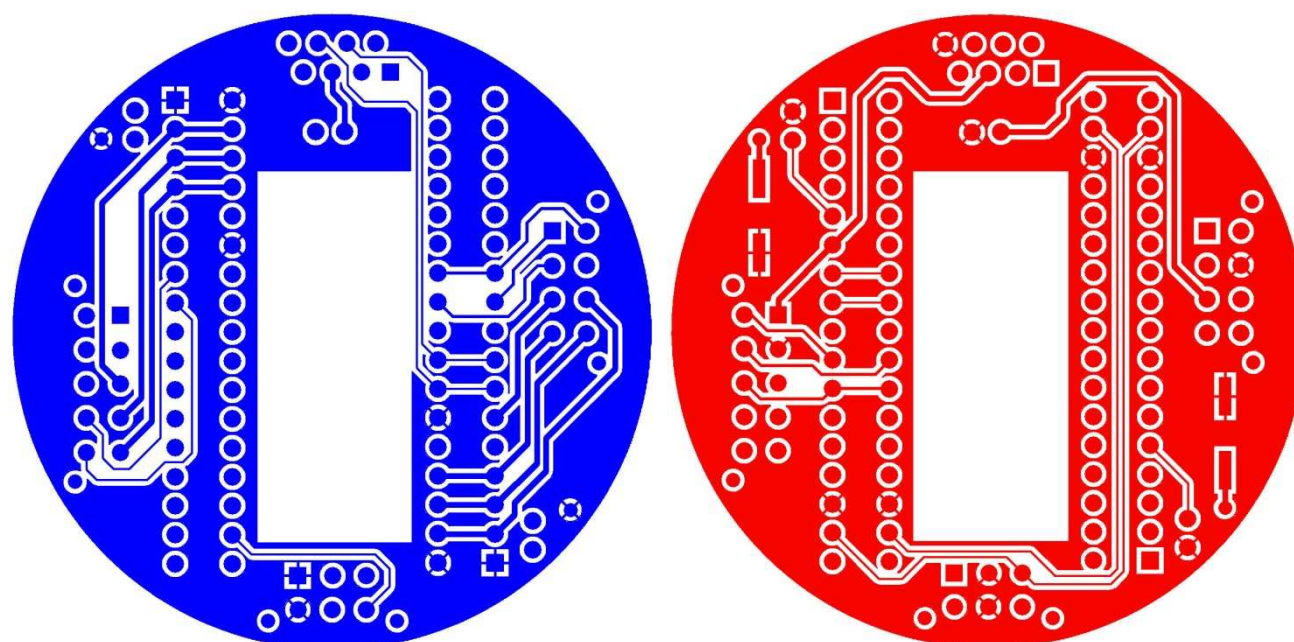


Figura A.36: Cara TOP y BOTTOM del interior del brazo

A.2 Proceso de creación de una PCB

En electrónica, un circuito impreso o PCB (del inglés Printed Circuit Board), es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor, comúnmente baquelita o fibra de vidrio. Además, para poder dibujar las pistas hay que laminarlas con una película fotosensible, quedando como en la siguiente figura:

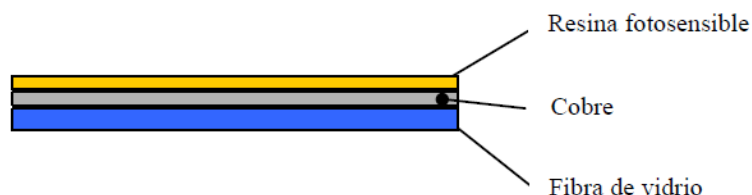


Figura A.37: Capas de una PCB básica

La construcción de la PCB se ha desarrollado en cuatro fases bien diferenciadas, que se van a explicar siguiendo los pasos en la construcción de una placa.

A.2.1 Insolación

Mediante un fotolito que contendrá la imagen del circuito y una exposición de luz, traspasamos la imagen a la PCB. Este es el principio en que se basa la insolación: se somete la placa a una emisión constante de luz ultravioleta.

La luz ultravioleta incide sobre la resina fotosensible, y ésta reacciona químicamente.

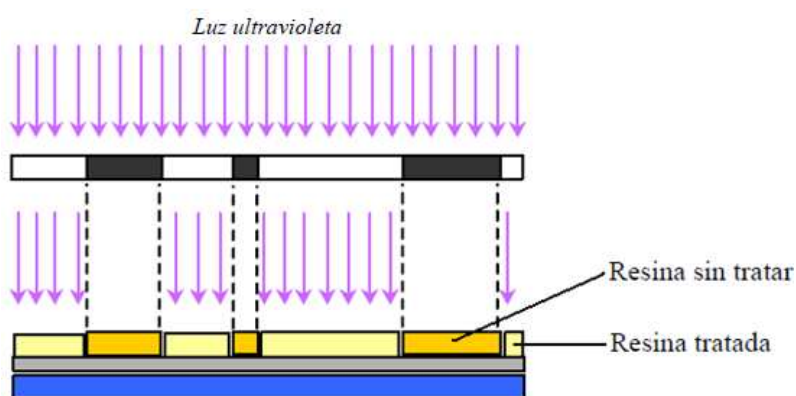


Figura A.38: Acción de la luz ultravioleta sobre una PCB

Actualmente, hay técnicas que permiten insolar directamente sin necesidad de fotolitos, como por ejemplo, mediante los equipos LDI (Laser Direct Imaging).

A.2.2 Revelado

El segundo paso en la construcción de la placa, es el revelado. Consiste en eliminar de la placa la resina tratada químicamente. Para ello, debemos poner en contacto la placa con una sustancia química llamada revelador. Éste elimina de la placa de fibra de vidrio la resina tratada químicamente y deja al descubierto el cobre únicamente en aquellas zonas donde incidió la luz ultravioleta (donde no debe existir pista conductora). El resultado de este proceso se representa en la siguiente figura:

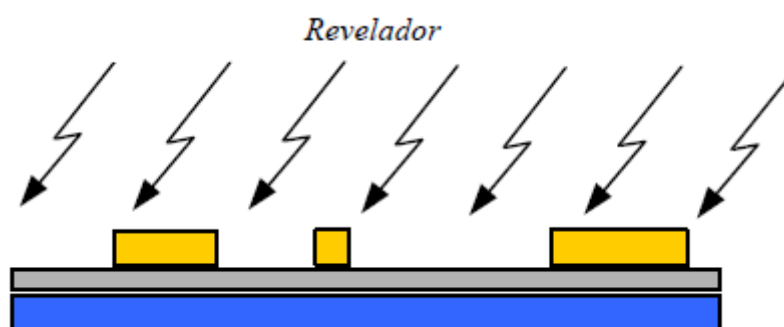


Figura A.39: Acción del revelador sobre la PCB

A.2.3 Atacado.

Lo que se ha obtenido hasta ahora es una placa donde las zonas en las que se desea que haya pista poseen el cobre protegido por la resina fotosensible. En aquellas regiones donde queremos que no haya pista el cobre está directamente expuesto al exterior.

El objetivo del atacado es eliminar todo el cobre expuesto al exterior. El proceso se resuelve químicamente, mediante la utilización de cloruro férrico, aunque también son comunes el sulfuro de amonio y el ácido clorhídrico.

En la siguiente figura, se muestra el efecto del atacado en la placa.



Figura A.40: Efectos del atacado en la PCB

A.2.4 Finalización de la PCB

Por último, se procedería a una limpieza de la placa para eliminar la resina sobrante, y conseguir las pistas conductoras.

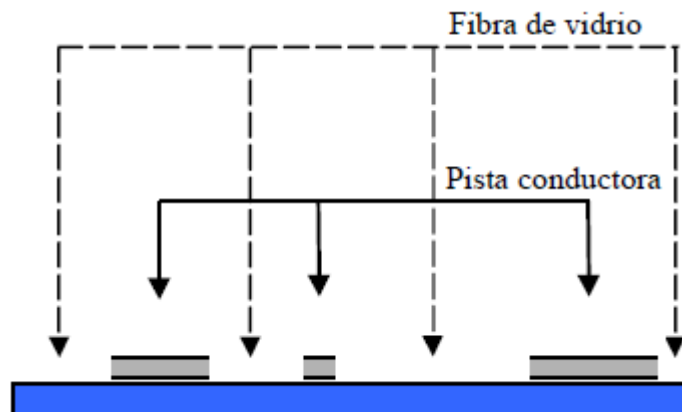


Figura A.41: Resultado final de la PCB

Con esto, ya estaría preparada la placa, a falta de recortar los bordes sobrantes (si los hubiera), hacer los agujeros mediante taladrado y soldar los componentes.

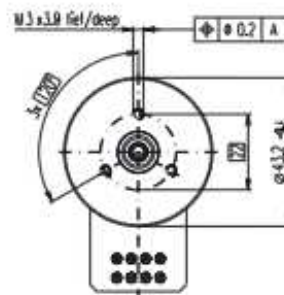
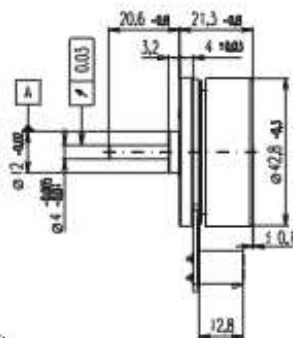
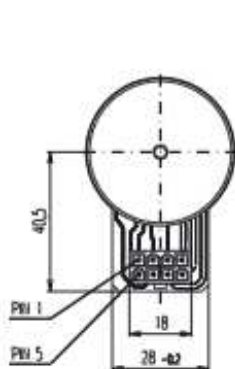
En la siguiente página de Internet, se podrá ver un ejemplo de fabricación de un circuito impreso multicapa.

<http://www.lab-circuits.com/es/fabricacio.php>

A.3 Hojas de características de los componentes.



A.3.1 Motor 251601 (50W)

EC 45 Flat motor Ø45 mm, brushless, 50 Watt



Connector:
39-28-1083
MOLEX

M 1:2

 Stock program
 Standard program
 Special program (on request!)

Order Number

with Hall sensors

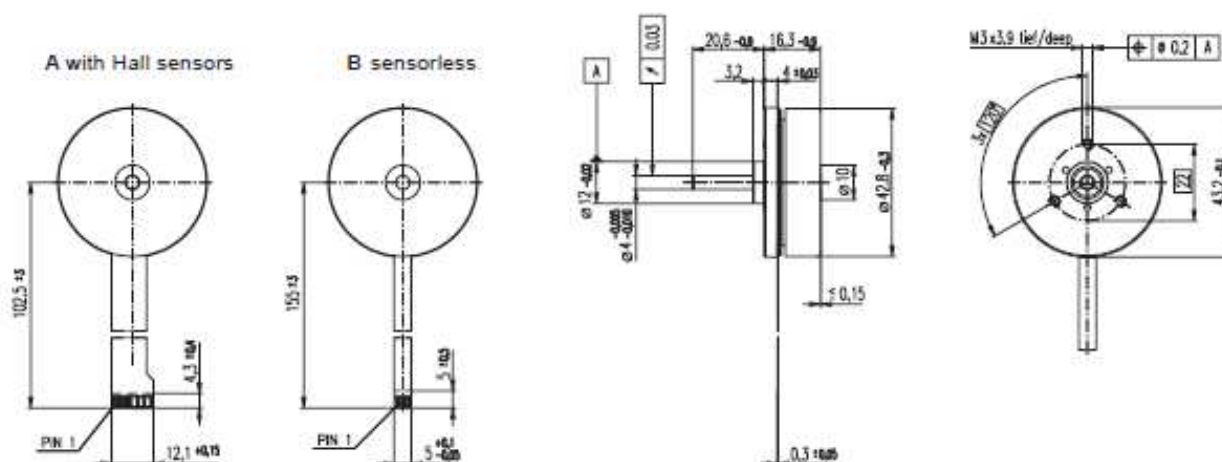
251001

Motor Data		Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit
1	Assigned power rating	W	50						
2	Nominal voltage	Volt	24.0						
3	No load speed	rpm	6800						
4	Stall torque	mNm	780						
5	Speed / torque gradient	rpm / mNm	8.8						
6	No load current	mA	200						
7	Terminal resistance phase to phase	Ohm	1.03						
8	Max. permissible speed	rpm	10000						
9	Max. continuous current at 5000 rpm	A	2.58						
10	Max. continuous torque at 5000 rpm	mNm	81.4						
11	Max. efficiency	%	82.7						
12	Torque constant	mNm / A	33.5						
13	Speed constant	rpm / V	285						
14	Mechanical time constant	ms	12						
15	Rotor inertia	gcm ²	135						
16	Terminal inductance phase to phase	mH	0.450						
17	Thermal resistance housing-ambient	K / W	3.9						
18	Thermal resistance winding-housing	K / W	5.3						
19	Thermal time constant windings	s	11.7						
20	Thermal time constant stator	s	82.6						

Specifications	Operating Range	Comments	Details on page 149
<ul style="list-style-type: none"> Axial preload > 4 N Max. ball bearing loads <ul style="list-style-type: none"> axial (dynamic) 2.8 N radial (7.5 mm from flange) 5.5 N Force for press fits (static) 50 N (static, shaft supported) 1000 N Ambient temperature range -40 ... +100°C Max. permissible winding temperature +125°C Weight of motor 110 g 16 pole permanent magnet 3 phased coil stator with 4 pole shoes each Values listed in the table are nominal. Connection with Hall sensors <ul style="list-style-type: none"> Pin 1 Hall sensor 1* Pin 2 Hall sensor 2* Pin 3 4.5 ... 24 VDC Pin 4 Motor winding 3 Pin 5 Hall sensor 3* Pin 6 GND Pin 7 Motor winding 1 Pin 8 Motor winding 2 *Internal pull-up (7 ... 13 kΩ) on pin 3 For wiring diagram for Hall sensors, see p. 26 	<p>Operating Range</p> <p>maxon Modular System</p> <p>Spur Gearhead</p> <p> Ø45 mm 0.5 - 2.0 Nm Details page 226 </p>	<p>— Curve of constant assigned power rating</p> <p>Continuous operation</p> <p>In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.</p> <p>— Thermal limit.</p> <p>Short term operation</p> <p>The motor may be briefly overloaded (recurring).</p>	<p>Details on page 149</p>

A.3.2 Motor 200142 (30W)

EC 45 Flat motor Ø45 mm, brushless, 30 Watt



<div> <div>Stock program</div> <div>Standard program</div> <div>Special program (on request!)</div> </div>		<div>Order Number</div>					
<div>with Hall sensors</div> <div>sensorless</div>		<div>200142</div>	<div>200189</div>				
<div>Motor Data</div>							
1	Assigned power rating	W	30	30			
2	Nominal voltage	Volt	12.0	12.0			
3	No load speed	rpm	4400	4400			
4	Stall torque	mNm	260	260			
5	Speed/torque gradient	rpm/mNm	17.5	17.5			
6	No load current	mA	150	150			
7	Terminal resistance phase to phase	Ohm	1.20	1.40			
8	Max. permissible speed	rpm	10000	10000			
9	Max. continuous current at 5'000 rpm	A	2.40	2.40			
10	Max. continuous torque at 5'000 rpm	mNm	51.0	51.0			
11	Max. efficiency	%	77.6	77.6			
12	Torque constant	mNm/A	25.5	25.5			
13	Speed constant	rpm/V	374	374			
14	Mechanical time constant	ms	17.0	17.0			
15	Rotor inertia	gcm²	92.5	92.5			
16	Terminal inductance phase to phase	mH	0.410	0.410			
17	Thermal resistance housing-ambient	K/W	6.0	6.0			
18	Thermal resistance winding-housing	K/W	4.0	4.0			
19	Thermal time constant winding	s					
20	Thermal time constant stator	s					

Specifications		Operating Range		Comments	Details on page 150
● axiale preload	> 5 N		— Curve with constant output power	<p>Continuous operation In observation of above listed thermal resistance values 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient. - Thermal limit.</p> <p>Short term operation The motor may be briefly overloaded (recurring).</p>	
● Max. ball bearing loads					
axial (dynamic)	2.8 N				
radial (7.5 mm from flange)	5.5 N				
Press-fit force (static)	50 N				
● Ambient temperature range	-40/+85°C				
● Max. rotor temperature	+85°C				
● Weight of motor	88 g				
● Version with and without Hall sensors					
● 16-pole permanent magnet					
● 3-phased coil stator with 4 pole shoes each					
● Values listed in the table are nominal.					

Connection	with Hall sensors	sensorless
Pin 1	4.5 ... 24V DC	motor winding 1
Pin 2	Hall sensor 3	motor winding 2
Pin 3	Hall sensor 1	motor winding 3
Pin 4	Hall sensor 2	⌋ neutral point
Pin 5	GND	
Pin 6	motor winding 3	
Pin 7	motor winding 2	
Pin 8	motor winding 1	

Connector	Article number	Article number
AMP	1-487952-1	487952-4
MOLEX	52271-1190	52207-0490
MOLEX	52089-1110	52089-0410

A.3.3 Encoder Relativo



The RCML15 Series is a low profile optical encoder. The RCML15 combines brushless motor commutation pulses and incremental position feedback. This RENCO feature reduces the cost while improving the performance and reliability of the brushless motor/encoder package. The patented slide lock mechanism makes installation and commutation track alignment simple. The low profile makes the RCML15 perfect for designs where space is critical.

Features:

- Low profile (8.89mm [.350 inch] height)
- Patented slide lock for easy installation
- Line count up to 5000
- 2 data channels in quadrature
- Once around index pulse
- 3 commutation channels (optional)
- Opto-Asic technology
- 500 KHz frequency response

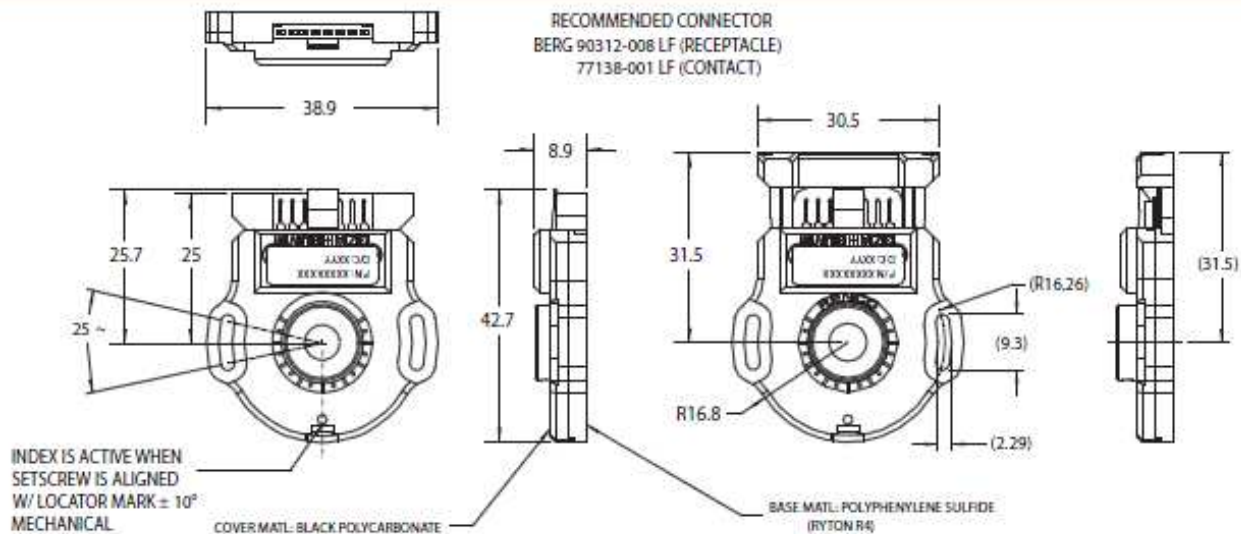
Environmental:		Mechanical:	
Operating Temp	-30° to 100°C	Moment of Inertia	0.89g-cm ² [1.28 x 10 ⁻⁶ oz in sec ²]
Excursion Limits:		Weight	15 encoders with tray = 11 oz.
Storage Temp	-40° to 115°C	Base Material	Glass filled PPS
Shock	100 G's for 8mS duration	Cover Material	Glass filled polycarbonate
Vibration	25 to 2000 Hz @ 20 G's	Disc Material	Metal 0.05 THK TYP
Humidity	85%/85°C non-condensing	Hub Material	Aluminum
IP Rating	IP40	Shaft Max End Play	±0.254mm [± 0.010]
		Shaft Run Out	0.025mm [.001"] TIR
		Mounting Hardware	2 each #2-56 x 3/8" screws.

Electrical:	
Signals	Incremental plus optional commutation
Input Voltage	3.3 VDC ±10% or 5.0 VDC ± 10% Single Supply
Current	55 mA Max with 2000 Ohm Termination @ nominal voltage ±10%
Output Format	A/B in phase quadrature. INDEX width & location gated with respect to data
Output Type	PP = Source or Sink 4 mA Max.
Output Logic Levels	Logic 0 = 0.5 V Max, Logic 1 = 2.5 V Min. (2.2 V Min for 3.3 V supply)
Operating Frequency	To 500 KHz

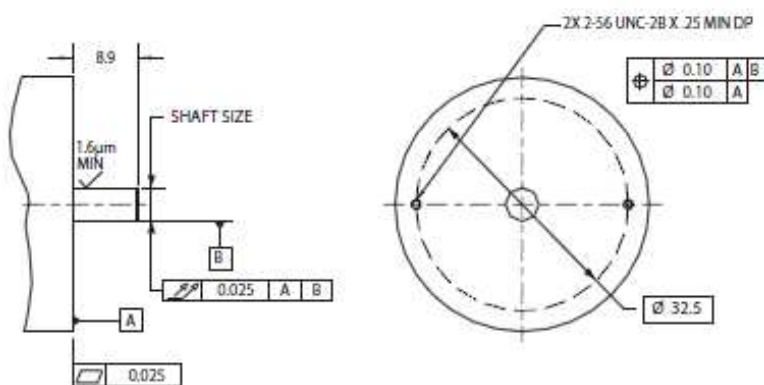
Resolution:	
Line Count	100, 200, 250, 256, 400, 500, 512, 625, 800, 1000, 1024, 1250, 2000, 2048, 2500, 4000, 4096, 5000
Commutation	0, 2, 3, 4
Index Gating	1 = Index Gated with A & B, Index width 90° ± 45° 6 = Index Gated with A- & B-, Index width 90° ± 45° 7 = Centered on A & B, Index width 270° ± 45° 8 = Centered on A- & B-, Index width 270° ± 45°

Standard variants are listed in BOLD (other versions upon request)

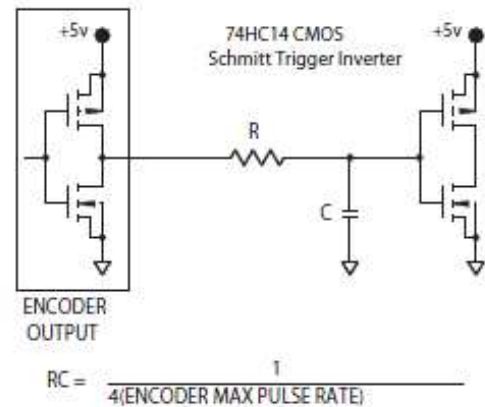
Mechanical Dimensions



Mounting Requirements



Recommended Termination



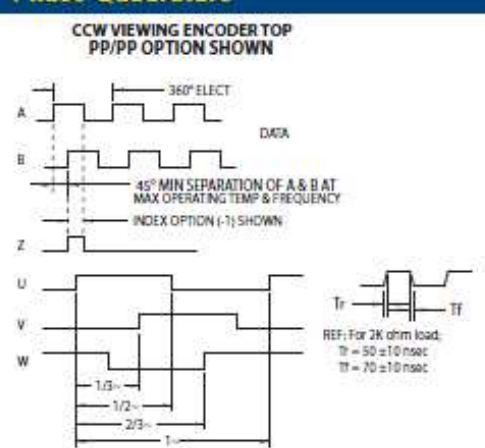
Hub Size

SPECIFY	HUB SIZE +0.01 -0	SHAFT SIZE +0 -0.013
1/8+	3.178	3.175
3/16	4.757	4.754
3/16+	4.765	4.762
1/4	6.345	6.342
1/4+	6.353	6.350
5/16	7.932	7.929
3/8	9.52	9.517
3/8+	9.528	9.525
5MM	5	4.997
6MM	6	5.997
8MM	8	7.997

Pin Functions

PIN NO.	FUNCTION
1	GND
2	Z
3	A
4	+5V
5	B
6	U
7	V
8	W

Phase Quadrature



A.3.4 Encoder absoluto

AEAS - 7500

Ultra-Precision 16 bit Gray Code Absolute Encoder Module

Data Sheet

Description

The encoder IC consists of 13 signal photo diode channels and 1 monitor photo diode channel and is used for the optical reading of rotary or linear code carriers (i.e. discs or scales). The photodiodes are accompanied with precision amplifiers plus additional circuitry.

The monitor channel is used to drive a constant current source for the highly collimated IR illumination system.

Functional Description

Background

The 13 signal channels are set up as:

1. Two precision defining signals (A0, A09), which are two 90° electrical shifted sine, cosine signals. These signals are conditioned to be compensated for offset and gain errors. After conditioning they are on-chip interpolated and computed to a combined absolute 16 bit Gray code, together with signal channels A1-A11.
2. 11 analog (A1-A11) channels, which are directly digitized by precision comparators with hysteresis tracking. The digitized signals are called D1-D11.
3. An internal correction and synchronization module allows the composition of a true 16 bit gray code by merging the data bits of (1) and (2) by still keeping the code monotonic.
4. There is a Gray code correction feature for this encoder. This Gray code correction can be disabled/enabled by the pin KORR.
5. The gain and offset conditioning value of the sine and cosine signals are preloaded on-chip by factory. This will minimize mechanical sensor misalignment error.



Features

- Two Sine/Cosine true differential outputs with 1024 periods for unit alignment
- Integrated highly collimated illumination system
- 11 digital tracks plus 2 sin/cos tracks generate precise 16 bit Gray code
- Ultra fast, 1 μ s cycle for serial data output word equals 16MHz
- The 12 bits MSB is functionable up to 12000 RPM, 16 bit up to 1000RPM
- MSB can be inverted for changing the counting direction
- Monitor track for tracking the light level of the LED
- Watch dog with alarm output pin LERR
- -25 °C to + 85 °C operating temperature

Benefits

- No battery or capacitor required for position detection during power failure
- Immediate position detection on power up

Applications

- Rotary application up to 16 bits / 360° absolute position
- Cost effective solution for direct integration into OEM systems
- Linear positioning system

Absolute Maximum Ratings ^{1, 2}

Parameter	Symbol	Limits	Units
DC Supply Voltage	VD	-0.3 to + 6.0	V
Input Voltage	V _{in}	-0.3 to +VD +0.3	V
Output Voltage	V _{out}	-0.5 to +VD +0.3	V
Moisture Level (Non-Condensing)	%RH	85	%
Operating Temperature	T _A	-25 to 85	°C
Storage Temperature	T _S	- 40 to 100	°C

Notes:

1. Stresses greater than those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.
2. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

Recommended Operating Condition

Parameter	Symbol	Values			Units	Notes
		Min.	Typ.	Max.		
DC Supply Voltage	VD	+ 4.5	+ 5.0	+5.5	V	1
Operating Temperature	T _A	- 25	25	+85	°C	
Input High Level	V _{IH}	0.7*VD		VD	V	
Input Low Level	V _{IL}	0		0.3*VD	V	

Notes:

1. Voltage ripple of supply voltage, V_{ripple}, should be within 100mVpp or less for improved accuracy.

Electrical Characteristics

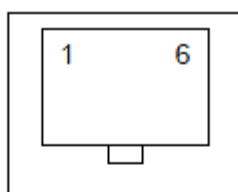
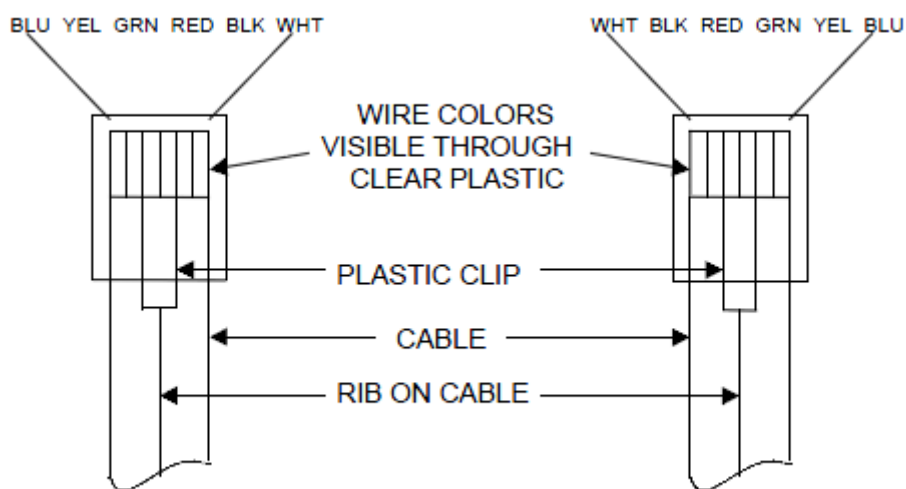
Electrical Characteristics over Recommended Operating Range, typical at T_A=25 °C and VD = 5V

Parameter	Symbol	Condition	Values			Units
			Min	Typ.	Max	
Total Operating Current	I _{total}			25		mA
Digital Input-Pull Down Current	I _{pd}		-20		-5	mA
Digital Input-Pull Up Current	I _{pu}		30		160	mA
Digital Output-H-Level	V _{OH}	I _{OH} = 2 mA	VD -0.5 V		VD	V
Digital Output-L-Level	V _{OL}	I _{OL} = - 2 mA	0		0.5	V
SCL Clock Frequency	f _{SCL}				16	MHz
Duty Cycle SCL Clock	T _{LH}	T _{LH} = H/(L+H)	0.4		0.6	
Accuracy within one revolution ^{1, 2, 3}		f _{SCL} = 5MHz RPM =80 V _{ripple} <50mVpp		±2 bit		
Signal frequency of A0, A09	f _{A0} , f _{A09}				250	kHz

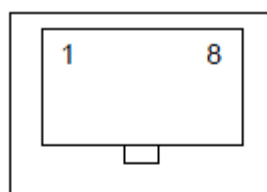
Notes:

1. LSB accuracy will also depend on mechanical precision of the shaft, bearings, hub etc. As the AEAS-7500 is a detached encoder set as different from AEAS-7000 series, which are modular, where final testing, programming and assembly take place at the customer facility, final accuracies of the encoder cannot be guaranteed by Avago.
2. Accuracy would be influenced by installation control and the bearing and shaft type being used.
3. Other test conditions to determine accuracy are briefly listed as follows:
 - (a) At nominal radial, tangential and gap position
 - (b) On dual preloaded bearing with absolute assembly total runout of not exceeding 0.01 mm TIR
 - (c) Both VDD & VDDA RC filters placed not more than 20mm from header pins

A.3.5 Sensor Fuerza-Par



6 pin Sensor Jack



8 pin Sensor Jack

PIN	SIGNAL
1	DCLK +
2	DCLK -
3	+ ~ 8 V
4	PWR COM
5	DATA +
6	DATA -

PIN	SIGNAL
1	- 12 V
2	DCLK +
3	DCLK -
4	+ ~ 8 V
5	PWR COM
6	DATA +
7	DATA -
8	+ 12 V

A.3.6 Driver ISCM 8005

Your
Next
Intelligent
Move


TECHNO SOFT
MOTION TECHNOLOGY

ISCM4805 / 8005 INTELLIGENT SERVO CONTROL MODULES 200W

DIGITAL MOTOR CONTROL FOR BRUSHLESS, DC BRUSH, LINEAR AND STEP MOTORS

The ISCM4805 and ISCM8005 are new Technosoft high-performance intelligent servo modules, combining motion controller, drive and PLC functionality in a single compact unit.

The ISCM modules are flexible, cost effective and compact solutions, particularly adapted for distributed and co-ordinated control of brushless, DC, linear or step motors of powers up to 240W, with voltages up to 80V.

Typical applications include distributed motor control with possibilities of gearing and electronic CAM functions in a CAN network operation.

Targeted for medium to high volume applications, the ISCM hardware structure is based on a cost optimised design integrating all the basic motor control functions on one double-sided credit card format. A series of I/O signals, both digital and analogue, are available for easy interfacing with the application.

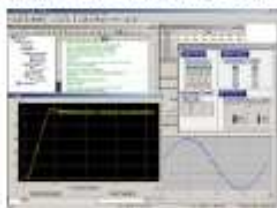
A complete set of high-level Technosoft Motion Language (TML) instructions permit to define and start complex motion sequences from your host, PC, or to execute pre-stored motion sequences selected from I/O lines, in a stand-alone mode.

The Embedded Intelligence of the ISCM facilitates the configuration and programming of the module through a high level graphical interface as the EasyMotion Studio.

YOUR NEXT INTELLIGENT MOVE
"MOTION CONTROL AT THE
CLICK OF A MOUSE"

The configuration, tuning and programming of the ISCM intelligent servo modules is easy using the powerful graphical Technosoft EasyMotion Studio.

System configuration and parameterization are performed by the selection and test of system structure, motor and sensors type and control mode.



PO01.047.052 ISCM.LFT.0509



EasyMotion Studio compatible
Visual C / VB / LabVIEW / Linux
and PLC libraries available

FEATURES

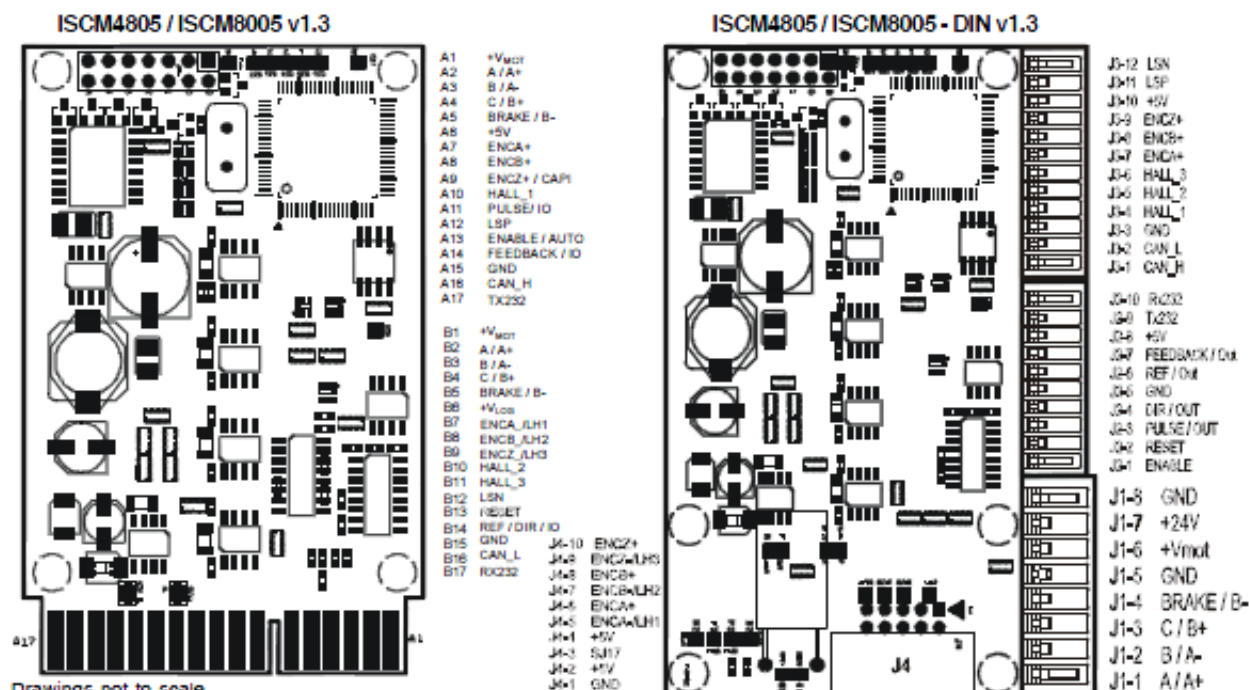
- Fully digital servo drive with embedded intelligence and PLC functionality
- Suitable for brushless DC, brushless AC (vector control) DC brush, linear and two-phase step motors
- Compact open frame design (70x50 mm) credit card format; DIN-rail version also available
- Various control modes as:
 - Torque, speed or position control
 - Electronic gearing, contouring, profiling
 - Step motor emulation (step and direction input)
 - External variables control capabilities (pressure, flow, temperature etc.)
- Powerful Technosoft Motion Language (TML) instruction set for definition and execution of motion sequences in:
 - Single or multi axis control (master or slave mode)
 - Standalone operation with Stored Motion sequences
- RS-232 serial communication
- CAN-Bus 2.0B up to 1 Mbit/s / CANopen
- Programmable digital input / outputs and analog inputs
 - 5 to 8 programmable inputs / outputs
 - Differential quadrature encoder and digital Hall's interface
 - Linear Hall sensors interface
 - 2 analog inputs, 0...5V; +/- 10V range
- Motor power supply 48V - ISCM4805, or 80V - ISCM8005
- High current capability (5A continuous, 16A peak current)
- Protection for over current, short circuit, earth fault, over- and under-voltage, Pt. control error
- 2.54 mm pitch edge connector
- Custom hardware and firmware options available (PMCM series)

TYPICAL APPLICATIONS

- Systems with distributed motor control intelligence
- Packaging equipment
- Printing
- Textile
- Medical
- Automotive
- Pick and place
- Factory automation

Application notes with ready to run Motion Language program examples are available at www.technosoftmotion.com





Drawings not to scale

EASYMOTION STUDIO

The high level graphical development environment EasyMotion Studio, supports the configuration, parameterization and programming of the drive, through

- Motion system set-up wizard
- Tuning assistance
- Definition, programming and testing of motion sequences

MOTION CONTROL LIBRARIES

The TML_LIB Motion Control Libraries can be used to implement a motion control application on a PC from Visual C / C++, C#, Visual Basic, Delphi or LabVIEW under Windows or Linux operating systems.

If a PLC is used as host, implementations of the TML_LIB observing the IEC 61131 standard are available for Siemens and Omron PLCs.

ISCM STARTER KIT

Complete evaluation packages for the ISCM drives, containing the servodrive, motor, I/O board, EasyMotion Studio software that are supported by a collection of application notes and documentation.

P091.047.052.ISCM.LFT.0810

ISCM4805 / ISCM8005 INTELLIGENT SERVO MODULES

Electrical Specifications		ISCM4805	ISCM8005
DC supply voltage: logic		24V	
	motor	12-48V	12-80V
Maximum continuous current		5A	
Peak current (100 ms. max.)		16A	
Minimal load inductance		200 microHenry*	330 microHenry*
Nominal switching frequency		20kHz	
Operating ambient temperature		0°C-40°C	
*at 48V (ISCM4805) / 80V (ISCM8005) and 20kHz switching frequency			
Ordering Information			
P047.001.E201	ISCM4805 Servo Module, 48V, 5A, CAN		
P047.001.E211	ISCM4805 Servo Module, 48V, 5A, CANopen		
P047.001.E301	ISCM8005 Servo Module, 80V, 5A, CAN		
P047.001.E311	ISCM8005 Servo Module, 80V, 5A, CANopen		
P052.001.E201	ISCM4805 Servo Module, 48V, 5A, DINrail, CAN		
P052.001.E211	ISCM4805 Servo Module, 48V, 5A, DINrail, CANopen		
P052.001.E301	ISCM8005 Servo Module, 80V, 5A, DINrail, CAN		
P052.001.E311	ISCM8005 Servo Module, 80V, 5A, DINrail, CANopen		
P047.001.E084	ISCM4805 Starter Kit for Brushless Motor		
P047.001.E085	ISCM4805 Starter Kit for Stepper Motor		
P047.001.E184	ISCM4805 I/O board		
P034.001.E002	EasyMotion Studio software		
P040.001.Exxx	TML_LJB Motion Libraries**		

FLEXIBILITY

**ask for existing libraries types

Standard control schemes supported by the ISGM Drives

Motor Types	Torque control	Speed control	Position control
Brushless DC / AC	✓	✓	✓
DC Brush	✓	✓	✓
Linear	✓	✓	✓
Step	✓	✓	✓

A.3.7 Reductores de tensión

**TRACO
POWER**

DC/DC Converters

TMR 3WI Series, 3 Watt



Features

- ◆ Highest power density in SIP package
- ◆ Ultra wide 4:1 input range
- ◆ Small footprint: 21.8 x 9.2 mm
- ◆ Temperature range -40° to +85°C
- ◆ High efficiency up to 81%
- ◆ Excellent load and line regulation
- ◆ Short-circuit protection
- ◆ I/O isolation 1500 VDC
- ◆ Remote On/Off control
- ◆ 3-year product warranty



The TMR-3WI series is a new family of isolated 3W DC/DC converters with regulated output, featuring ultra-wide 4:1 input voltage range. The product comes in an ultra-compact SIP plastic package with a small footprint occupying only 2.0 cm² (0.3 square in.) of board space. An excellent efficiency allows -40° to +85°C operation temperatures.

Further features include remote On/Off control and continuous short circuit protection. The very compact dimensions of these converters make them an ideal solution for many space critical applications in battery-powered equipment and instrumentation.

Models

Order code	Input voltage	Output voltage	Output current max.	Efficiency typ.
TMR 3-1210WI	4.5 – 18 VDC (12 VDC nominal)	3.3 VDC	700 mA	74 %
TMR 3-1211WI		5 VDC	600 mA	78 %
TMR 3-1212WI		12 VDC	250 mA	80 %
TMR 3-1213WI		15 VDC	200 mA	80 %
TMR 3-1221WI		± 5 VDC	± 300 mA	80 %
TMR 3-1222WI		± 12 VDC	± 125 mA	80 %
TMR 3-1223WI		± 15 VDC	± 100 mA	80 %
TMR 3-2410WI	9 – 36 VDC (24 VDC nominal)	3.3 VDC	700 mA	75 %
TMR 3-2411WI		5 VDC	600 mA	80 %
TMR 3-2412WI		12 VDC	250 mA	81 %
TMR 3-2413WI		15 VDC	200 mA	81 %
TMR 3-2421WI		± 5 VDC	± 300 mA	79 %
TMR 3-2422WI		± 12 VDC	± 125 mA	80 %
TMR 3-2423WI		± 15 VDC	± 100 mA	81 %
TMR 3-4810WI	18 – 75 VDC (48 VDC nominal)	3.3 VDC	700 mA	74 %
TMR 3-4811WI		5 VDC	600 mA	79 %
TMR 3-4812WI		12 VDC	250 mA	79 %
TMR 3-4813WI		15 VDC	200 mA	79 %
TMR 3-4821WI		± 5 VDC	± 300 mA	79 %
TMR 3-4822WI		± 12 VDC	± 125 mA	79 %
TMR 3-4823WI		± 15 VDC	± 100 mA	80 %

**TRACO
POWER**

DC/DC Converters
TMR 3WI Series 3 Watt

Input Specifications

Input current at full load	12 Vin models: 340 mA max. 24 Vin models: 170 mA max. 48 Vin models: 85 mA max.
Input current at no load	12 Vin models: 40 mA max. 24 Vin models: 25 mA typ. 48 Vin models: 15 mA typ.
Surge voltage (100 msec. max.)	12 Vin models: 25 V max. 24 Vin models: 50 V max. 48 Vin models: 100 V max.
Input filter	internal capacitor
ESD (electrostatic discharge)	EN 61000-4-2, air ± 8 kV, contact ± 6 kV, perf. criteria A
Radiated immunity	EN 61000-4-3, 10 V/m, perf. criteria A
Fast transient / Surge	EN 61000-4-4, ± 2 kV, perf. criteria A EN 61000-4-5, ± 1 kV perf. criteria A With external input capacitor e.g. Nippon chemi-con KY 100 μ F, 100 V, ESR 110 mOhm
Conducted immunity	EN 61000-4-6, 10 Vrms, perf. criteria A

Output Specifications

Voltage set accuracy	± 1 % max
Regulation	<ul style="list-style-type: none"> – Input variation Vin min. to Vin max.: 0.2 % max. – Load variation 0 – 100%: single output models: 1.0 % max. dual output models: 1.0 % max. balanced load – Load cross regulation 25/100%: 5.0 % max. (dual output models)
Minimum load	not required
Temperature coefficient	0.02 %/K
Ripple and noise (20 MHz Bandwidth)	30 mVpk-pk max.
Start up time	– Power On: 30 ms typ.
(constant resistive load)	– Remote On: 30 ms typ.
Transient response settling time (25% load step change)	250 μ s typ.
Temperature coefficient	± 0.1 %/°C
Short circuit protection	continuous, automatic recovery
Capacitive load	3.3 VDC models: 1'760 μ F max. 5 VDC models: 1'000 μ F max. 12 VDC models: 170 μ F max. 15 VDC models: 110 μ F max. ± 5 VDC models: ± 470 μ F max. ± 12 VDC models: ± 100 μ F max. ± 15 VDC models: ± 47 μ F max.

General Specifications

Temperature ranges	<ul style="list-style-type: none"> – Operating: -40 °C to $+85$ °C – Case temperature: $+100$ °C max. – Storage: -55 °C to $+125$ °C
Load derating	3.5 %/K above 70 °C
Humidity (non condensing)	95 % rel. H max.
Reliability, calculated MTBF (MIL-HDBK-217F ground benign)	>1.7 Mio h @ 25 °C

All specifications valid at nominal input voltage, full load and $+25$ °C after warm-up time unless otherwise stated.

TRACO[®]
POWER

DC/DC Converters
TMR 3WI Series 3 Watt

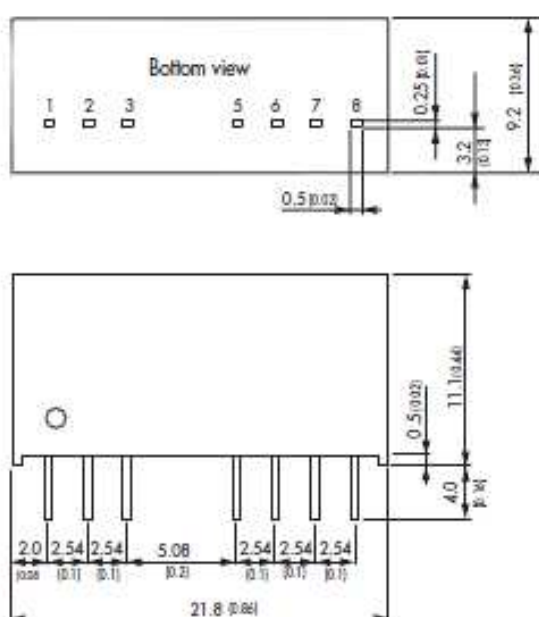
General Specifications

Isolation voltage (60 sec)	- Input/Output	1'500 VDC
Isolation capacity	- Input/Output	200 pF max.
Isolation resistance	- Input/Output (500 VDC)	>1 GOhm
Switching frequency		100 kHz (PWM)
Remote On/Off	- On: - Off: - Off stand by input current	open or high impedance 2...4 mA to applied via 1 kOhm resistor 2.5 mA max.
Vibration and thermal shock		MIL-STD-810E
Safety standards		UL /cUL 60950-1, EN 60950-1, IEC 60950-1
Safety approvals	- UL/cUL	pending

Physical Specifications

Case material	non-conductive plastic
Potting material	silicon, UL 94V-0 rated
Weight	4.8g (0.17oz)

Outline Dimensions



Pin-Out		
Pin	Single	Dual
1	-Vin (GND)	-Vin (GND)
2	+Vin (Vcc)	+Vin (Vcc)
3	Remote On/Off	Remote On/Off
5	No con.	No con.
6	+Vout	+Vout
7	-Vout	Common
8	No con.	-Vout

Dimensions in [mm], (I) = Inch
Pin dimension tolerances 0.1 (0.004)
Pin pitch tolerances: ± 0.25 (0.01)
Tolerances: ± 0.5 (0.02)

1.5-A, WIDE-INPUT ADJUSTABLE SWITCHING REGULATOR

FEATURES

- 1.5-A Output Current
- Wide-Input Voltage
(7 V to 36 V) / (15 V to 36 V)
- Wide-Output Voltage Adjust
(2.5 V to 12.6 V) / (11.85 V to 22 V)
- High Efficiency (Up to 95%)
- On/Off Inhibit
- Undervoltage Lockout
- Output Current Limit
- Overtemperature Shutdown
- Operating Temperature: -40°C to 85°C
- Surface Mount Package Available

APPLICATIONS

- General-Purpose, Industrial Controls, HVAC Systems, Test and Measurement, Medical Instrumentation, AC/DC Adaptors, Vehicles, Marine, and Avionics

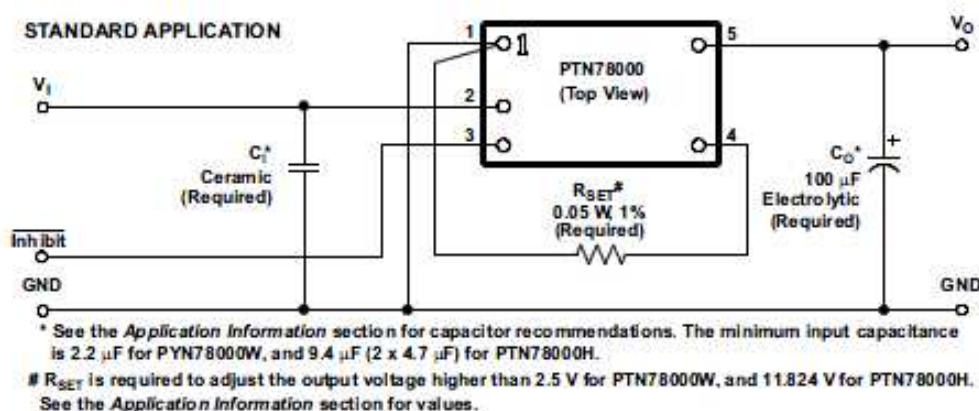


DESCRIPTION

The PTN78000 is a series of high-efficiency, step-down Integrated Switching Regulators (ISR), that represent the third generation in the evolution of the popular 78ST100 series of products. In new designs it should be considered in place of the 78ST100, PT78ST100, PT5100, and PT6100 series of single in-line pin (SIP) products. The PTN78000 is smaller and lighter than its predecessors, and has either similar or improved electrical performance characteristics. The case-less, double-sided package, also exhibits improved thermal characteristics, and is compatible with TI's roadmap for RoHS and lead-free compliance.

Operating from a wide-input voltage range, the PTN78000 provides high-efficiency, step-down voltage conversion for loads of up to 1.5 A. The output voltage is set using a single external resistor. The PTN78000W may be set to any value within the range, 2.5 V to 12.6 V, and the PTN78000H from 11.85 V to 22 V. The output voltage of the PTN78000W can be as little as 2 V lower than the input, allowing operation down to 7 V, with an output voltage of 5 V. The output voltage of the PTN78000H can be as little as 3 V lower than the input, allowing operation down to 15 V, with an output voltage of 12 V.

The PTN78000 has undervoltage lockout and an integral on/off inhibit. The modules are suited to a wide variety of general-purpose applications that operate off 12-V, 24-V, or 28-V dc power.



PTN78000W, PTN78000H



SLTS230A–NOVEMBER 2004–REVISED APRIL 2005



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ORDERING INFORMATION

PTN78000 (Basic Model)			
Output Voltage	Part Number	Description	Package Designator
2.5 V - 12.6 V	PTN78000WAH	Horizontal T/H	EUS
	PTN78000WAS ⁽¹⁾⁽²⁾	Horizontal SMD	EUT
	PTN78000WAZ ⁽³⁾⁽²⁾		
11.85 V - 22 V	PTN78000HAH	Horizontal T/H	EUS
	PTN78000HAS ⁽¹⁾⁽²⁾	Horizontal SMD	EUT
	PTN78000HAZ ⁽³⁾⁽²⁾		

(1) Standard option specifies Sn/Pb solder pin material.

(2) Add a T suffix for tape and reel option on SMD packages.

(3) Lead (Pb) - free option specifies Sn/Ag solder pin material.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾

over operating free-air temperature range unless otherwise noted
all voltages with respect to GND (pin 1).

			UNIT
T _A	Operating free-air temperature	Over V _I range	–40°C to 85°C
	Solder reflow temperature	Surface temperature of module body or pins	Horizontal SMD (suffix AS) 235°C
			Horizontal SMD (suffix AZ) 260°C
T _{stg}	Storage temperature		–40°C to 125°C
V _I	Input surge voltage, 10 ms maximum		38 V
V _{INH}	Inhibit (pin 3) input voltage		–0.3 V to 5 V
P _O	Output power	V _O ≥ 15 volts	22.5 W

(1) Stresses beyond those listed under absolute maximum ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under recommended operating conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

		MIN	MAX	UNIT
V _I	Input voltage	PTN78000W	7	36
		PTN78000H	15	36
T _A	Operating free-air temperature	–40	85	°C

PACKAGE SPECIFICATIONS

PTN78000x (Suffix AH, AS, and AZ)			
Weight			2 grams
Flammability	Meets UL 94 V-0		
Mechanical shock	Per Mil-STD-883D, Method 2002.3, 1 ms, 1/2 sine, mounted		500 Gs ⁽¹⁾
Mechanical vibration	Mil-STD-883D, Method 2007.2, 20-2000 Hz	Horizontal T/H (suffix AH)	20 Gs ⁽¹⁾
		Horizontal SMD (suffix AS and AZ)	15 Gs ⁽¹⁾

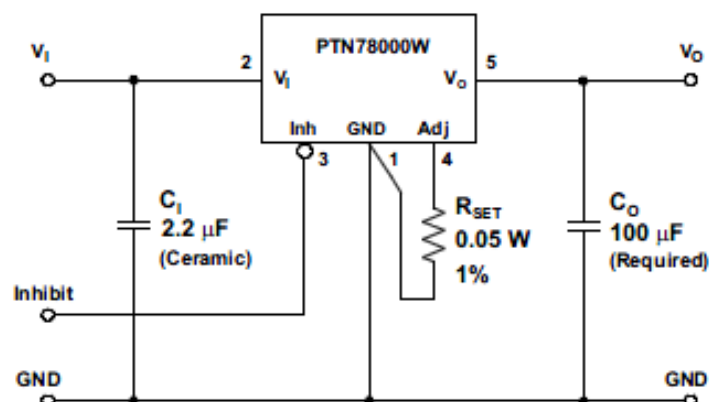
(1) Qualification limit.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

operating at 25°C free-air temperature, $V_I = 20\text{ V}$, $V_O = 5\text{ V}$, $I_O = I_O(\text{max})$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 100\text{ }\mu\text{F}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	PTN78000W			
			MIN	TYP	MAX	UNIT
I_O	Output current	$T_A = 85^\circ\text{C}$, natural convection airflow	0		1.5	A
V_I	Input voltage range	Over I_O range	7 ⁽¹⁾		36 ⁽²⁾	V
V_O	Set-point voltage tolerance	$T_A = 25^\circ\text{C}$			$\pm 2\%$ ⁽³⁾	
	Temperature variation	-40°C to $+85^\circ\text{C}$		$\pm 0.5\%$		
	Line regulation	Over V_I range		± 10		mV
	Load regulation	Over I_O range		± 10		mV
	Total output voltage variation	Includes set point, line, load $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$			$\pm 3\%$ ⁽³⁾	
$V_O \text{ Adj}$	Output voltage adjust range	$V_I < 12\text{ V}$	2.5		$V_I - 2$	V
		$12\text{ V} \leq V_I \leq 15.1\text{ V}$	2.5		$V_I - 2.5$	
		$15.1\text{ V} < V_I \leq 25\text{ V}$	2.5		12.6	
		$V_I > 25\text{ V}$	$0.1 \times V_I$		12.6	
η	Efficiency	$V_I = 24\text{ V}$, $R_{\text{SET}} = 732\text{ }\Omega$, $V_O = 12\text{ V}$		91%		
		$V_I = 15\text{ V}$, $R_{\text{SET}} = 21\text{ k}\Omega$, $V_O = 5\text{ V}$		86%		
		$V_I = 15\text{ V}$, $R_{\text{SET}} = 78.7\text{ k}\Omega$, $V_O = 3.3\text{ V}$		82%		
	Output voltage ripple	20 MHz bandwidth		$1\% V_O$		V_{ripple}
$I_{O(\text{LM})}$	Current limit threshold	$\Delta V_O = -50\text{ mV}$		3.2		A
	Transient response	1 A/ μs load step from 50% to 100% $I_{O(\text{max})}$				
		Recovery time		100		μs
		V_O over/undershoot		2.5		$\%V_O$
UVLO	Undervoltage lockout	V_I increasing		5.5		V
		V_I decreasing		5.2		
	Inhibit control (pin 3)	Input high voltage (V_{IH})	1		Open ⁽⁴⁾	V
		Input low voltage (V_{IL})	-0.1		0.3	
		Input low current (I_{IL})		-0.25		mA
$I_{I(\text{STBY})}$	Input standby current	Pin 3 connected to GND		17		mA
F_S	Switching frequency	Over V_I and I_O ranges	440	550	660	kHz
C_I	External input capacitance	Ceramic	2.2 ⁽⁵⁾			μF
C_O	External output capacitance	Nonceramic	100 ⁽⁶⁾			μF
		Ceramic			200	
		Equiv. series resistance (nonceramic)	10 ⁽⁷⁾			m Ω
MTBF	Calculated reliability	Per Telcordia SR-332, 50% stress, $T_A = 40^\circ\text{C}$, ground benign	8.9			10^6 Hr

- (1) For output voltages less than 10 V, the minimum input voltage is 7 V or $(V_O + 2)\text{ V}$, whichever is greater. For output voltages of 10 V and higher, the minimum input voltage is $(V_O + 2.5)\text{ V}$. See the Application Information section for further guidance.
- (2) For output voltages less than 3.6 V, the maximum input voltage is $10 \times V_O$. See the Application Information section for further guidance.
- (3) The set-point voltage tolerance is affected by the tolerance and stability of R_{SET} . The stated limit is unconditionally met if R_{SET} has a tolerance of 1% with 100 ppm/°C or better temperature stability.
- (4) This control pin has an internal pullup, and if left open circuit, the module operates when input power is applied. The open-circuit voltage is typically 1.5 V. A small, low-leakage ($< 100\text{ nA}$) MOSFET is recommended for control. See the Application Information section for further guidance.
- (5) An external 2.2- μF ceramic capacitor is required across the input (V_I and GND) for proper operation. Locate the capacitor close to the module.
- (6) 100 μF of output capacitance is required for proper operation. See the Application Information section for further guidance.
- (7) This is the typical ESR for all the electrolytic (nonceramic) capacitance. Use 17 m Ω as the minimum when using maximum ESR values to calculate.



- (1) A 0.05-W rated resistor may be used. The tolerance should be 1%, with a temperature stability of 100 ppm/°C (or better). Place the resistor as close to the regulator as possible. Connect the resistor directly between pins 4 and 1 using dedicated PCB traces.
- (2) Never connect capacitors from V_O Adjust to GND or V_O . Any capacitance added to the V_O Adjust pin affects the stability of the regulator.

Figure 27. PTN78000W V_O Adjust Resistor Placement

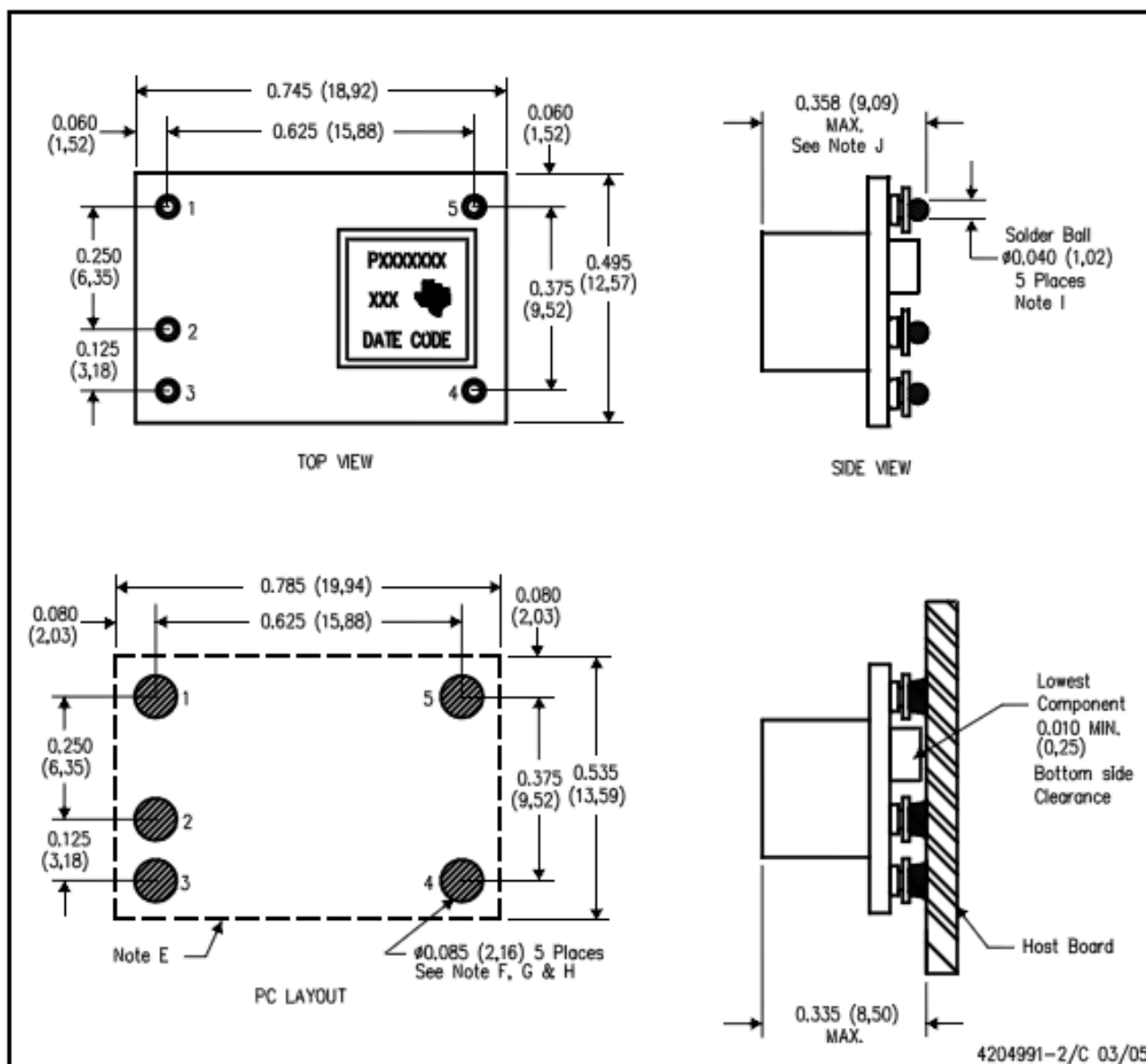
Table 3. PTN78000W Output Voltage Set-Point Resistor Values

V_O	R_{SET}	V_O	R_{SET}	V_O	R_{SET}	V_O	R_{SET}
2.50 V	Open	3.7 V	50.7 kΩ	6.1 V	12.6 kΩ	9.0 V	4.07 kΩ
2.55 V	1.37 MΩ	3.8 V	46.3 kΩ	6.2 V	12.1 kΩ	9.2 V	3.75 kΩ
2.60 V	680 kΩ	3.9 V	42.5 kΩ	6.3 V	11.6 kΩ	9.4 V	3.46 kΩ
2.65 V	451 kΩ	4.0 V	39.3 kΩ	6.4 V	11.1 kΩ	9.6 V	3.18 kΩ
2.70 V	337 kΩ	4.1 V	36.4 kΩ	6.5 V	10.7 kΩ	9.8 V	2.91 kΩ
2.75 V	268 kΩ	4.2 V	33.9 kΩ	6.6 V	10.2 kΩ	10.0 V	2.66 kΩ
2.80 V	222 kΩ	4.3 V	31.6 kΩ	6.7 V	9.85 kΩ	10.2 V	2.42 kΩ
2.85 V	190 kΩ	4.4 V	29.6 kΩ	6.8 V	9.47 kΩ	10.4 V	2.20 kΩ
2.90 V	165 kΩ	4.5 V	27.8 kΩ	6.9 V	9.11 kΩ	10.6 V	1.98 kΩ
2.95 V	146 kΩ	4.6 V	26.2 kΩ	7.0 V	8.76 kΩ	10.8 V	1.78 kΩ
3.00 V	131 kΩ	4.7 V	24.7 kΩ	7.1 V	8.43 kΩ	11.0 V	1.58 kΩ
3.05 V	118 kΩ	4.8 V	23.3 kΩ	7.2 V	8.11 kΩ	11.2 V	1.40 kΩ
3.10 V	108 kΩ	4.9 V	22.1 kΩ	7.3 V	7.81 kΩ	11.4 V	1.22 kΩ
3.15 V	99.1 kΩ	5.0 V	21.0 kΩ	7.4 V	7.52 kΩ	11.6 V	1.05 kΩ
3.20 V	91.5 kΩ	5.1 V	19.9 kΩ	7.5 V	7.24 kΩ	11.8 V	889 Ω
3.25 V	85.0 kΩ	5.2 V	18.9 kΩ	7.6 V	6.97 kΩ	12.0 V	734 Ω
3.30 V	79.3 kΩ	5.3 V	18.0 kΩ	7.7 V	6.71 kΩ	12.2 V	585 Ω
3.35 V	74.2 kΩ	5.4 V	17.2 kΩ	7.8 V	6.46 kΩ	12.4 V	442 Ω
3.40 V	69.8 kΩ	5.5 V	16.4 kΩ	7.9 V	6.22 kΩ	12.6 V	305 Ω
3.45 V	65.7 kΩ	5.6 V	15.6 kΩ	8.0 V	5.99 kΩ		
3.50 V	62.1 kΩ	5.7 V	15.0 kΩ	8.2 V	5.55 kΩ		
3.55 V	58.9 kΩ	5.8 V	14.3 kΩ	8.4 V	5.14 kΩ		
3.60 V	55.9 kΩ	5.9 V	13.7 kΩ	8.6 V	4.76 kΩ		
3.65 V	53.2 kΩ	6.0 V	13.1 kΩ	8.8 V	4.40 kΩ		

MECHANICAL DATA

EUT (R-PDSS-B5)

DOUBLE SIDED MODULE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (mm).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - 2 place decimals are ± 0.030 ($\pm 0,76$ mm).
 - 3 place decimals are ± 0.010 ($\pm 0,25$ mm).
 - Recommended keep out area for user components.
 - Power pin connection should utilize two or more vias to the interior power plane of 0.025 (0,63) I.D. per input, ground and output pin (or the electrical equivalent).

- Paste screen opening: 0.080 (2,03) to 0.085 (2,16).
Paste screen thickness: 0.006 (0,15).
- Pad type: Solder mask defined.
- All pins: Material - Copper Alloy
Finish - Tin (100%) over Nickel plate
Solder Ball - See product data sheet.
- Dimension prior to reflow solder.

4204991-2/C 03/05

A.3.8 Conector MicroFit

FEATURES AND SPECIFICATIONS

Features and Benefits

- "Offset Terminal Retention" for optimum retention to PC board during wave soldering
- Fully polarized to mating receptacle
- Peg feature provides polarization to PCB
- Surface Mount Compatible

Reference Information

Product Specification: PS-43045
Packaging: Tray
UL File No.: E29179
CSA File No.: LR19980
TUV License No.: R95107
Mates With: 43025
Designed In: Millimeters

Electrical

Voltage: 250V
Current: 5.0A max.
Contact Resistance: 10mΩ max.
Dielectric Withstanding Voltage: 1500V AC
Insulation Resistance: 1000 MΩ min.

Mechanical

Insertion Force to PCB: 7.5kgf max. (16.5 lb)

Physical

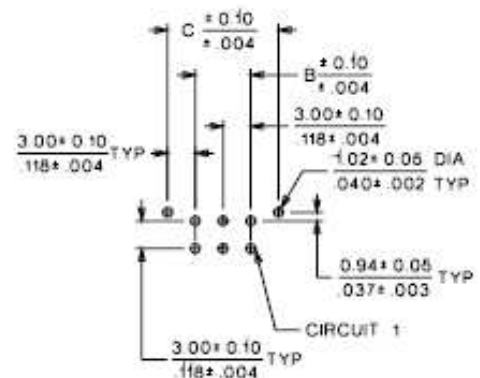
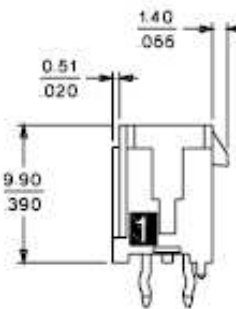
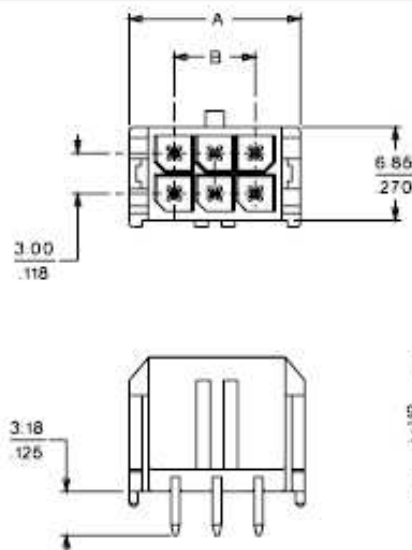
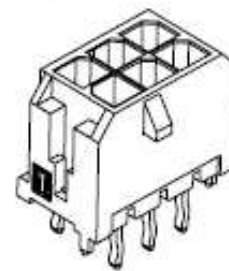
Housing: High temperature LCP, UL 94V-0
Contact: Phosphor Bronze
Plating: Tin or Gold

molex 3.00mm (.118") Pitch
Micro-Fit 3.0™

Wire-to-Board
Header

43045

Dual Row
Vertical



PCB LAYOUT: COMPONENT SIDE

RECOMMENDED PCB THICKNESS: 1.57/.062

ORDERING INFORMATION AND DIMENSIONS

Circuits	Order No.						Dimension			Overall Height When Mated With:	
	Standard "OTR" Version			Straight Tail Version			A	B	C		
	Tin	15μ" Gold	30μ" Gold	Tin	15μ" Gold	30μ" Gold					
2	* 43045-0212	43045-0213	* 43045-0214	43045-0227	43045-0228	43045-0229	6.65 (1.262)		6.00 (.236)	43025	17.27 (.680)
4	* 43045-0412	43045-0413	* 43045-0414	43045-0427	43045-0428	43045-0429	9.65 (1.380)	3.00 (.118)	9.00 (.354)	43025	17.27 (.680)
6	* 43045-0612	43045-0613	* 43045-0614	43045-0627	43045-0628	43045-0629	12.65 (1.498)	6.00 (.236)	12.00 (.472)	43025	17.27 (.680)
8	* 43045-0812	43045-0813	* 43045-0814	43045-0827	43045-0828	43045-0829	15.65 (1.616)	9.00 (.354)	15.00 (.591)	43025	17.27 (.680)
10	* 43045-1012	43045-1013	* 43045-1014	43045-1027	43045-1028	43045-1029	18.65 (1.734)	12.00 (.472)	18.00 (.709)	43025	17.27 (.680)
12	* 43045-1212	43045-1213	* 43045-1214	43045-1227	43045-1228	43045-1229	21.65 (1.852)	15.00 (.591)	21.00 (.827)	43025	17.27 (.680)
14	* 43045-1412	43045-1413	* 43045-1414	43045-1427	43045-1428	43045-1429	24.65 (1.970)	18.00 (.709)	24.00 (.945)	43025	17.27 (.680)
16	* 43045-1612	43045-1613	* 43045-1614	43045-1627	43045-1628	43045-1629	27.65 (1.088)	21.00 (.827)	27.00 (1.063)	43025	17.27 (.680)
18	* 43045-1812	43045-1813	* 43045-1814	43045-1827	43045-1828	43045-1829	30.65 (1.206)	24.00 (.945)	30.00 (1.181)	43025	17.27 (.680)
20	* 43045-2012	43045-2013	* 43045-2014	43045-2027	43045-2028	43045-2029	33.65 (1.325)	27.00 (1.063)	33.00 (1.299)	43025	17.27 (.680)
22	* 43045-2212	43045-2213	* 43045-2214	43045-2227	43045-2228	43045-2229	36.65 (1.443)	30.00 (1.181)	36.00 (1.417)	43025	17.27 (.680)
24	* 43045-2412	43045-2413	* 43045-2414	43045-2427	43045-2428	43045-2429	39.65 (1.561)	33.00 (1.299)	39.00 (1.535)	43025	17.27 (.680)

• US Standard Products, available through Molex franchised distributors

A.3.9 Conector FFC

[illegible]

A.3.10 Conector MicroMatch

